



universität
wien

MASTERARBEIT

„Monitoring der Körperzusammensetzung bei
traumatologischen Intensivpatienten in Form einer
prospektiven Pilotstudie“

Romana Piza, Bakk.rer.nat.

angestrebter akademischer Grad
Master of Science (MSc)

Wien, 2012

Studienkennzahl lt. Studienblatt:	A 033 638
Studienrichtung lt. Studienblatt:	Ernährungswissenschaften
Betreuer:	Univ.-Prof. Mag. Dr. Karl-Heinz Wagner

Vorwort

Für die Mitarbeit an der Studie und die Bereitstellung dieses Themas bedanke ich mich bei Frau OA Dr. Inge Gerstorfer (Studienleiterin am Unfallkrankenhaus Meidling, 1120 Wien, Institut für Anästhesiologie und Intensivmedizin). Sie hat mich während der gesamten Arbeit betreut und hatte für all meine Fragen stets ein offenes Ohr. Ein besonderer Dank gilt auch der Diätologin Claudia Hofmann, die im Unfallkrankenhaus Meidling jede Hürde mit mir überwunden hat und mir auch als Freundin zur Seite stand.

Ein weiterer Dank gilt der Diätologin Elisabeth Rinder-Pamperl und dem gesamten Team der Intensivstation und aller Normalstationen des Krankenhauses, die es mir ermöglicht haben, diese Studie so reibungslos wie nur möglich durchzuführen.

„Geschrieben steht: »Im Anfang war das *Wort!*«
Hier stock ich schon! Wer hilft mir weiter fort?
Ich kann das *Wort* so hoch unmöglich schätzen,
Ich muss es anders übersetzen,
Wenn ich vom Geiste recht erleuchtet bin.
Geschrieben steht: Im Anfang war der *Sinn*.
Bedenke wohl die erste Zeile,
Daß deine Feder sich nicht übereile!
Ist es der *Sinn*, der alles wirkt und schafft?
Es sollte stehn: Im Anfang war die *Kraft!*
Doch, auch indem ich dieses niederschreibe,
Schon warnt mich was, daß ich dabei nicht bleibe.
Mir hilft der Geist! Auf einmal seh ich Rat
Und schreibe getrost: **Im Anfang war die *Tat!***“

V.1224

Johann Wolfgang Goethe
Faust
Der Tragödie erster Teil

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	III
Inhaltsverzeichnis	VII
Eidesstattliche Erklärung	X
Abkürzungsverzeichnis	XI
Abbildungsverzeichnis	XIII
Tabellenverzeichnis	XV
1. Einleitung	1
1.1. Begründung des Themas	1
1.2. Gesamtforschungsfrage	2
1.3. Eigene Forschungsfrage	3
2. Theoretische Grundlagen	4
2.1. Körpergewicht und Body Mass Index	4
2.2. Analyse der Körperzusammensetzung	5
2.3. Körperzusammensetzung eines gesunden Erwachsenen	8
2.3.1. Berechnungen der Körperzusammensetzung mit Hilfe der BIA	9
2.3.2. Wasserhaushalt	10
2.3.3. Intra- und Extrazelluläres Wasser	12
2.3.4. Wasserbalance	13
2.4. Veränderungen der Körperzusammensetzung im Alter	14
2.5. Medizinische Grundlagen	14
2.5.1. Stationär betreuter Patient / Intensivpatient	15
2.5.2. Polytrauma	15
2.5.3. Posttraumatische und postoperative Ödeme	16
3. Bioelektrische Impedanzanalyse (BIA)	18
3.1. Physikalische Grundlagen	18
3.1.1. Impedanz, Resistanz und Reaktanz	20
3.1.2. Impedanz-Index	22
3.1.3. Phasenwinkel	22
3.1.4. BIVA – Bioelektrische Impedanzvektoranalyse	26
3.2. Messung der Körperwiderstände/ Durchführung der Messung	29
3.2.1. Ermittlung der Daten	30

3.3. Sicherheitsstandards der bioelektrischen Impedanzanalyse	30
3.4. Einflussgrößen.....	31
3.5. Vor- und Nachteile der bioelektrischen Impedanzanalyse	32
4. Grundlagen der Studie/ Forschungsdesign	34
4.1. Studiendesign.....	34
4.2. Probandenanzahl & Ein- und Ausschlusskriterien	34
4.2.1. Fallzahlrechtfertigung	34
4.2.2. Einschlusskriterien	34
4.2.3. Ausschlusskriterien	35
4.2.4. Drop-Out Kriterien	35
4.3. Messfrequenz und Studienablauf	35
4.4. Begründung der Methodenwahl.....	36
4.5. Statistische Auswertung	37
5. Ergebnisse der Studie und Interpretation der Daten	38
5.1. Gesamtkollektiv und Geschlechterverteilung.....	38
5.2. Verlauf des BMI	38
5.3. Verlauf des Total body water [%].....	41
5.4. Verlauf des extrazellulären Wasser [%].....	43
5.5. Verlauf der Wasserbalance	45
5.6. Verlauf der BCM und des ECM/BCM-Indexes	47
5.7. Verlauf des Phasenwinkels.....	49
5.8. Verlauf der Reaktanz und Resistanz	51
5.9. Auswirkungen der Traumascores TRISS und SAPS III auf die Veränderung der Körperzusammensetzung	54
5.10. Auswirkungen der Traumascores TRISS und SAPS III auf die Aufenthaltsdauer im Krankenhaus.....	56
5.11. Zusammenhang zwischen Wasserbalance und Phasenwinkel	57
5.12. Zusammenhang zwischen ECM/BCM-Index und dem Phasenwinkel ..	58
5.13. Ernährungszustand der Patienten im Krankenhaus	59
6. BIA-Verlaufsmessung an einem konkreten Fallbeispiel.....	63
6.1. Beurteilung der Messergebnisse	63
6.2. Interpretation der Piccoli-Nomogramme	66

6.3. Gesamtinterpretation der Messergebnisse des Patienten	68
7. Fehlerbesprechung.....	69
7.1. Wissenschaftlichkeit	69
7.2. Mögliche Fehlerquellen.....	69
8. Conclusion	71
8.1. Ausblick	74
9. Protokoll	75
10. Zusammenfassung	76
11. Summary.....	78
12. Literaturverzeichnis	80
13. Internetquellen	86
14. Anhang.....	87
14.1. Ergebnisdarstellung mit Balkendiagramm	87
14.2. Ergebnisdarstellung bei einer Segmentalmessung.....	88
14.3. Ergebnisdarstellung mit Hilfe von Referenzbalken	88
14.4. Screening auf Mangelernährung im Krankenhaus.....	89
15. Curriculum Vitae	90

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre hiermit, dass ich die vorliegende Masterarbeit selbstständig und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel verfasst habe. Die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht.

Weiters versichere ich, dass ich diese Arbeit bisher weder im In- noch im Ausland in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe.

Wien, September 2012

Romana Piza

Abkürzungsverzeichnis

°C	Grad Celsius
A	Ampere, Basiseinheit der elektrischen Stromstärke
Abb.	Abbildung
APACHE	Acute Physiology And Chronic Scoring System
AUVA	Allgemeine Unfallversicherungsanstalt
AVG	average
BCM	Body Cell Mass, Körperzellmasse
BIA	Bioelektrische Impedanzanalyse
BIVA	Bioelektrische Impedanzvektoranalyse
BMI	Body Mass Index
bzw.	beziehungsweise
CPAP	Continuous Positive Airway Pressure
CRP	C- reaktives Protein
ECM	Extrazelluläre Masse
ECW	Extrazelluläres Wasser
FFM	Fettfreie Masse
I	Stromstärke [A]
ICM	Intrazelluläre Masse
ICW	Intrazelluläres Wasser
ISS	Injury Security Score
K	Kalium
K ⁺	Kaliumionen
kcal	Kilokalorien
kg	Kilogramm, Basiseinheit der Masse
KG	Gesamtkörpergewicht
KH	Kohlenhydrate
kHz	Kilohertz, abgeleitete SI-Einheit für die Frequenz
l	Liter, Einheit für das Volumen
LBM	Lean Body Mass, Magermasse
mol	SI- Basiseinheit der Stoffmenge
MW	Mittelwert

Na	Natrium
Na ⁺	Natriumionen
NaCl	Natriumchlorid
PA	Phasenwinkel [°]
R	Widerstand [Ohm Ω]
RL	Reference Level (Referenzwert)
Rz	Resistanz [Ohm]
SAPS	Simplified Acute Physiology Score
SD	Standardabweichung
Tab.	Tabelle
TBW	Total Body Water, Gesamtkörperwasser
TRISS	Trauma and Injury Severity Score
U	Spannung [V]
U1	Erste Messung auf der Intensivstation
U2	Letzte Messung vor der Transferierung auf die Normalstation
U3	Letzte Messung vor der Entlassung aus dem Krankenhaus
V	Volt, Maßeinheit für die elektrische Spannung
WB	Wasserbalance
Xc	Reaktanz [Ohm]
Z	Impedanz (bzw. Bioelektrische Impedanz)

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Kompartimentmodelle	8
Abbildung 2: Schematische Darstellung der Berechnung der Körperkompartimente	9
Abbildung 3: Anteil des Wassers in den verschiedenen Flüssigkeitsräumen am Gesamtkörpergewicht	12
Abbildung 4: Wasserbalance-Darstellung mit Hilfe eines Balken.....	13
Abbildung 5: Darstellung des menschlichen Körpers mit Hilfe von Zylindern ...	19
Abbildung 6: Darstellung des Phasenwinkels inklusive der Phasenverschiebung bei einer intakten Zelle.....	23
Abbildung 7: Darstellung des Phasenwinkels inklusive der Phasenverschiebung bei einer geschädigten Zelle	23
Abbildung 8: Theoretische Herleitung des Phasenwinkels	24
Abbildung 9: Interpretation der Vektormigration.....	26
Abbildung 10: Interpretation der individuellen Vektorposition im Vektorgraph mit Hilfe der 50., 75. und 95. Referenztoleranzellipse	27
Abbildung 11: Richtige Platzierung der Elektroden.....	29
Abbildung 12: Körperhaltung bei der Durchführung einer BIA-Messung.....	29
Abbildung 13: Graphische Darstellung von BMI U1, U2 und U3 mit der Trendlinie auf den Mittelwerten	39
Abbildung 14: Darstellung des mittleren BMI des Gesamtkollektivs und getrennt nach Geschlechtern	40
Abbildung 15: Verlauf des mittleren TBW [%] beim Gesamtkollektiv und getrennt nach Geschlechtern.....	42
Abbildung 16: Verlauf des mittleren ECW [%] beim Gesamtkollektiv und getrennt nach Geschlechtern.....	44
Abbildung 17: Verlauf der mittleren Wasserbalance beim Gesamtkollektiv und getrennt nach Geschlechtern.....	46
Abbildung 18: Verlauf des mittleren ECM/BCM-Index beim Gesamtkollektiv und getrennt nach Geschlechtern.....	48
Abbildung 19: Verlauf des mittleren Phasenwinkels beim Gesamtkollektiv und getrennt nach Geschlechtern.....	49

Abbildung 20: Verlauf der mittleren Resistanz beim Gesamtkollektiv und getrennt nach Geschlechtern.....	51
Abbildung 21: Verlauf der mittleren Reaktanz beim Gesamtkollektiv und getrennt nach Geschlechtern.....	53
Abbildung 22: Verlauf der Traumascores TRISS und SAPS III zu U1	54
Abbildung 23: Korrelation von TBW [%] zu U1 mit TRISS	55
Abbildung 24: Korrelation von TBW [%] zu U1 mit SAPS III	55
Abbildung 25: Korrelation WB und PA zu U1	58
Abbildung 26: Korrelation WB und PA zu U2.....	58
Abbildung 27: Korrelation WB und PA zu U3.....	58
Abbildung 28: Korrelation ECM/BCM-Index und PA zu U1	59
Abbildung 29: Korrelation ECM/BCM-Index und PA zu U2.....	59
Abbildung 30: Korrelation ECM/BCM-Index und PA zu U3.....	59
Abbildung 31: Verlauf des mittleren ECW [%] und TBW [%].....	64
Abbildung 32: Verlauf der mittleren Wasserbalance	64
Abbildung 33: Verlauf des mittleren Phasenwinkels	65
Abbildung 34: Verlauf des mittleren ECM/BCM-Indexes.....	66
Abbildung 35: Nomogramm zu U1	66
Abbildung 36: Nomogramm zu U2.....	66
Abbildung 37: Nomogramm zu U3.....	67

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1a: Internationale BMI- Klassifizierung bei Erwachsenen. <i>Adapted from WHO, 1995, WHO, 2000 and WHO 2004</i>	4
Tabelle 1b: BMI-Klassifizierung ab dem 65. Lebensjahr	5
Tabelle 2: Beurteilung von ECM/BCM-Index	6
Tabelle 3: Einfluss von Alter und Gewicht auf die Zusammensetzung des gesamten Körpers.....	8
Tabelle 4: Altersbedingte Veränderungen der Körperzusammensetzung	14
Tabelle 5: Messbereiche von Resistanz und Reaktanz	22
Tabelle 6: Messbereiche des Phasenwinkels	24
Tabelle 8: Einteilung der Untersuchungsgruppe nach Geschlecht und Alter	38
Tabelle 9: Charakterisierung der Untersuchungsgruppe nach Geschlecht, Gewicht und BMI zu U1, U2 und U3	39
Tabelle 10: BMI-Klassifizierung nach Geschlecht.....	41
Tabelle 11: TBW in % vom Gesamtkollektiv (n=19) zu U1, U2 und U3	41
Tabelle 12: TBW [%] getrennt nach Geschlecht	42
Tabelle 13: ECW [%] vom TBW vom Gesamtkollektiv zu U1, U2 und U3.....	44
Tabelle 14: ECW [%] vom TBW getrennt nach Geschlecht	44
Tabelle 15: Wasserbalance vom Gesamtkollektiv zu U1, U2 und U3	46
Tabelle 16: Wasserbalance getrennt nach Geschlecht.....	46
Tabelle 17: PA vom Gesamtkollektiv zu U1, U2 und U3	50
Tabelle 18: PA getrennt nach Geschlecht.....	50
Tabelle 19: Rz und Xc im Gesamtkollektiv zu den Zeitpunkten U1, U2 und U3	52
Tabelle 20: Rz getrennt nach Geschlecht	52
Tabelle 21: Xc getrennt nach Geschlecht	53
Tabelle 22: TRISS und SAPS III im Gesamtkollektiv	54
Tabelle 23: Mittlere Aufenthaltsdauer im Krankenhaus.....	56
Tabelle 24: Korrelationen zwischen TRISS, SAPS III und der Aufenthaltsdauer im Krankenhaus	56

1. Einleitung

1.1. Begründung des Themas

Diese Studie wurde ins Leben gerufen, da bei einem schweren bzw. Polytrauma der Schweregrad der Verletzung und deren Behandlung auf der Intensivstation eine große Herausforderung für Patient und Arzt darstellen. Mit Hilfe der bioelektrischen Impedanzanalyse (BIA) kann eine schnelle Maßnahme gesetzt werden, um Störungen oder Veränderungen der Körperzusammensetzung und speziell des Wasserhaushaltes zu identifizieren.

Diese experimentelle Arbeit soll in Form einer nicht-interventionellen prospektiven Pilotstudie die Auswirkungen eines schweren Traumas auf die Körperzusammensetzung, die Wasserbilanz und den Ernährungszustand (speziell Mangelernährung) während des gesamten Krankenhausaufenthalts ermitteln und darstellen. Es ist von großer Bedeutung, diese Veränderungen möglichst frühzeitig zu diagnostizieren und adäquat zu behandeln, da sie mit einer erhöhten Morbidität und Mortalität einhergehen. Zudem wird die stationäre Verweildauer verlängert.

In der Literatur finden sich einige Studien bezüglich bioelektrischer Impedanzanalyse und ihrer Interpretation hinsichtlich des jeweiligen Studienkollektives. Die Studien haben unterschiedliche Schwerpunkte. Sie werden über verschiedene Zeiträume durchgeführt und behandeln ein unterschiedliches Kollektiv. Der direkte Vergleich ist nur bedingt möglich, da es keine vergleichbaren Studien mit einem vergleichbaren Studienkollektiv gibt.

Der Review von Kyle et al. beschreibt, dass mit Hilfe der BIA-Messung die Ermittlung der fettfreien Masse (FFM) und des Gesamtkörperwassers (TBW) möglich ist, solange die Probanden keine signifikanten Abnormitäten im Flüssigkeits- und Elektrolythaushalt aufweisen. Das extrazelluläre Wasser (ECW) ist unter normalen Bedingungen ein konstanter Anteil vom TBW. Ein Anstieg vom ECW oder ECW/TBW kann ein Hinweis auf Ödeme und/oder Unterernährung

sein. Die Ermittlung von Veränderungen in der Körperzellmasse (BCM), ECW und ICW benötigen jedoch weitere Arbeiten, die bestätigen, dass Veränderungen im ECW keinen Einfluss auf das intrazelluläre Wasser (ICW) haben [KYLE et al, 2004, a].

Die BIA-Messung kann jedoch bei jedem Patienten durchgeführt werden, da es eine schnelle, nicht invasive, sichere und bettseitige Messmethode ist. Sie ermöglicht bei gesunden und chronisch-kranken Menschen gute Ergebnisse (dem Alter, Geschlecht, Gewicht bzw. der Größe und Rasse entsprechend). Die Verwendung im klinischen Bereich bei Patienten mit einem extrem hohen Body Mass Index (BMI) oder extrem abnormem Hydrationsstatus kann nicht empfohlen werden. Bei Patienten im klinischen Bereich müssen die Daten und Ergebnisse aber besonders sorgfältig betrachtet und mit Vorsicht interpretiert werden [KYLE et al, 2004, b].

Die Studie von Kushner et al. zeigt, dass die BIA eine sehr effektive Methode zur Bestimmung des Wasserhaushalts ist. Sie liefert bei einem gesunden Kollektiv signifikante Ergebnisse hinsichtlich des TBW [KUSHNER et al, 1992].

Die Wissenschaft beschäftigt sich schon seit langem mit der Ermittlung der Körperzusammensetzung und des Gesamtkörperwassers mit Hilfe der bioelektrischen Impedanzanalyse. Statistisch signifikante und untereinander vergleichbare Ergebnisse gibt es jedoch nur bei einem gesunden Kollektiv. Bei kranken Personen (unterschiedliche Krankheitsbilder) gibt es Studien, die mit der BIA gearbeitet haben. Die Ergebnisse sind aber teilweise nicht valide oder aufgrund der unterschiedlichen Erkrankung nicht untereinander vergleichbar. Aus diesem Grund liegt der Schwerpunkt dieser Arbeit darin neue Hypothesen zu generieren.

1.2. Gesamtforschungsfrage

In der Gesamtstudie (Pilotstudie) von Fr. OA Dr. Inge Gerstorfer liegt der Schwerpunkt im kontinuierlichen Monitoring der Katabolie bei Polytraumapatienten über den gesamten Zeitraum, den sie auf der Intensiv- und Normal-

station verbracht haben. Es geht nicht darum, spezifische Hypothesen zu formulieren, sondern typische Phänomene und Tendenzen zu erkennen, aus denen sich anschließend spezifische Fragestellungen ergeben können. Das Ziel besteht darin, genauere Informationen über den Verlauf und die Veränderungen der Körperzusammensetzung (Wasserbalance bzw. -verteilung, Körperzellmasse etc.) zu erfahren und daraus Therapieansätze abzuleiten. Zusätzlich dienen die Blutparameter CRP, Gesamteiweiß und Albumin der Beurteilung des Ernährungszustands und des Krankheitsverlaufs.

1.3. Eigene Forschungsfrage

Kontinuierliches Durchführen von BIA-Messungen, sowie Dokumentation und Interpretation der Parameter.

- Wie verhalten sich die Parameter auf der Intensivstation (Akutstadium) und auf der Normalstation?
- Ist ein allgemeiner Trend erkennbar? Gibt es Korrelationen zwischen den Zeitpunkten U1/U2, U1/U3 und U2/U3?
- Sind die untersuchten Parameter ein Prädiktor für die Verweildauer des Patienten auf der Intensivstation?
- Ist die Verweildauer im Krankenhaus abhängig vom Schweregrad der Verletzung/ des Traumas?

2. Theoretische Grundlagen

2.1. Körpergewicht und Body Mass Index

Der Body Mass Index (BMI) ist ein einfacher Parameter, um den Ernährungszustand von Erwachsenen zu beurteilen. Der BMI wird wie in folgender Formel berechnet und in mehrere Kategorien eingeteilt (siehe Tab. 1a):

$$\text{BMI} = \frac{\text{Körpergewicht (kg)}}{\text{Körpergröße in Metern zum Quadrat (m}^2\text{)}}$$

Klassifizierung	BMI (kg/m ²)
	Principal cut-off points
Untergewicht	< 18,50
Severe thinness	< 16,00
Moderate thinness	16,00 – 16,99
Mild thinness	17,00 – 18,49
Normalgewicht	18,50 – 24,99
Übergewicht	≥ 25,00
Präadipositas	25,00 – 29,99
Adipositas	≥ 30,00
Adipositas I	30,00 – 34,99
Adipositas II	35,00 – 39,99
Adipositas III	≥ 40,00

Tabelle 1a: Internationale BMI- Klassifizierung bei Erwachsenen. *Adapted from WHO, 1995, WHO, 2000 and WHO 2004* [Internetquelle I]

Der BMI ermöglicht eine einfache Abschätzung des Normalgewichts durch das Verhältnis von Körpergewicht zu Körpergröße zum Quadrat unter Berücksichtigung von Alter und Geschlecht. Bei Kindern und Jugendlichen unter 18 Jahren wird der BMI mit Hilfe von Perzentilen berechnet [ELMADFA, 2004]. Bei Erwachsenen ab dem 65. Lebensjahr wird der BMI (wie in Tabelle 1a dargestellt) klassifiziert.

Klassifizierung	BMI (kg/m ²)
Schwere Unterernährung	< 18,5
Leichte Unterernährung	18,5 – 19,9
Risiko für Unterernährung	20 – 21,9
Normalgewicht	22 – 26,9
Präadipositas	27 – 29,9
Adipositas	> 29,9

Tabelle 1b: BMI-Klassifizierung ab dem 65. Lebensjahr [KONDRUP et al, 2003]

Studien zur Mortalität zeigen, dass das geringste relative Sterberisiko bei Frauen mit einem BMI von 25–27 kg/m² und bei Männern mit einem BMI von 27–29 kg/m² liegt. Daraus lässt sich schließen, dass der „normale“ BMI bei älteren Menschen etwas höher liegt, als bei jüngeren Menschen [BIESALSKI, 2010]. (Nähere Informationen zur Veränderung der Körperzusammensetzung im höheren Alter, siehe Kapitel 2.4.).

2.2. Analyse der Körperzusammensetzung

Der Ernährungs- und Gesundheitszustand wird heutzutage nicht mehr nur anhand des Körpergewichts beurteilt, sondern kann mit Hilfe der bioelektrischen Impedanzanalyse gemessen werden. Voraussetzung für die Bestimmung und Analyse der Körperkompartimente ist die Kenntnis der Terminologie. Die **Körperfettmasse** umfasst die Menge der im Körper gespeicherten Triglyceride. Davon zu unterscheiden ist das **Fettgewebe**, welches die gespeicherten Triglyceride inklusive der zellulären und extrazellulären Anteile des Fettgewebes umfasst [MÜLLER und BOSY-WESTPHAL, 2000]. Für die Gesundheit relevant ist die Fettverteilung. Metabolische Komplikationen bei Adipositaspatienten treten gehäuft bei einer androgenen Fettverteilung (abdominale, zentrale, viszerale Adipositas) auf. Bei der gynoiden Form (periphere, gluteal-femorale Adipositas) ist das seltener der Fall [BIESALSKI, 2010]. Die **Magermasse** (Lean Body Mass, LBM) entspricht der Nichtfettgewebkörpermasse und ist von der **fettfreien Masse** (FFM) zu unterscheiden. Die FFM entspricht der LBM inklusive den

Nichtfettanteilen des Fettgewebes und ergänzt sich mit der Körperfettmasse zum Gesamtkörpergewicht. Die **Muskelmasse** ist Bestandteil der FFM und setzt sich aus der Summe aller Muskeln im Körper zusammen. Die **Körperzellmasse** (Body Cell Mass, BCM) besteht aus allen Zellen inklusive des intrazellulären Wassers. Sie besteht aus stoffwechselaktivem Gewebe und ist für alle physiologischen Funktionen des Körpers verantwortlich. In der Körperzellmasse nicht inbegriffen ist die extrazelluläre Masse, welche sich aus dem extrazellulären Wasser und den festen extrazellulären Bestandteilen (Knochenmasse, Faszien, Knorpeln) zusammensetzt [MÜLLER und BOSY-WESTPHAL, 2000].

Das Verhältnis von extrazellulärer Masse zur Body Cell Mass (**ECM/BCM-Index**) ist ein gewichtsunabhängiger Parameter zur Beschreibung des Ernährungszustandes (siehe Tab. 2).

ECM/BCM-Index	Interpretation
0,6	Nur bei Leistungssportlern zu finden
0,8 – 0,7	„Sehr gut“. Hinweis auf ausgezeichneten Ernährungs- und Trainingszustand.
0,9	„Gut“. Hinweis auf regelmäßige sportliche Aktivität. Ausreichende Versorgung mit Makronährstoffen ist wahrscheinlich.
1,0	„Befriedigend“. Häufigster Wert beim Großteil der Bevölkerung. Hinweis auf mäßige sportliche Aktivität und Grundversorgung mit Makronährstoffen.
1,1	„Ausreichend“. Mäßiger Ernährungs- und Trainingszustand.
1,2	„Mangelhaft“. Hinweis auf schlechten Ernährungszustand, eingeschränkte Nahrungszufuhr und Sport.
1,3	„Ungenügend“. Hinweis auf schlechten Ernährungszustand und Mangelernährung.
1,4	Hinweis auf Wassereinlagerungen und/oder Katabolie oder schwere Störungen des Wasserhaushalts.

Tabelle 2: Beurteilung von ECM/BCM-Index [Das BIA-Kompodium, 2005]

Beim Gesunden ist die BCM immer größer als die ECM und der Index somit kleiner als 1. Ein steigender ECM/BCM-Index ist ein Hinweis auf eine Verschlechterung des Ernährungszustands durch Katabolie der BCM. Der Körper lagert dann Wasser im Extrazellulärraum an, um das TBW konstant zu halten [MIKA et al, 2004].

Für die Bestimmung der Körperkompartimente gibt es unterschiedliche Modelle (siehe Abb. 1). Da die Zusammensetzung von Alter und Gesundheitszustand abhängig ist, sind die Ergebnisse für die Beurteilung des Ernährungs- und Gesundheitsstatus von großer Bedeutung [ELMADFA, 2004].

Ein-Kompartiment-Modell

Das einfachste Modell der Körperzusammensetzung ist die Beschreibung des Gesamtkörpergewichts [kg] des Menschen [ELMADFA, 2004].

Zwei-Kompartiment-Modell

Körpergewicht = Körperfett + fettarme (~fettfreie) Masse [ELMADFA, 2004]

Drei-Kompartiment-Modell

Körpergewicht = Körperfett + Zellmasse + Extrazellulärmasse [ELMADFA, 2004]

Vier-Kompartiment-Modell I a(chemische Analyse)

Körpergewicht = Körperfett + Wasser + Protein + Knochenminerale bzw. Aschegehalt [ELMADFA und LEITZMANN, 2004]

Vier-Kompartiment-Modell II b

Körpergewicht = Körperfett + Nichtmuskel-Masse + Muskulatur + Skelett [ELMADFA, 2004]

I	Körpergewicht			
II	Fettarme (-freie) Masse			Körperfett
III	Zellmasse		ECM	Körperfett
IVa	Mineralien	Protein	Wasser	Körperfett
IVb	Skelett	Muskulatur	Nichtmuskelmasse	Körperfett

Abbildung 1: Kompartimentmodelle [ELMADFA, 2004]

2.3. Körperzusammensetzung eines gesunden Erwachsenen

Das Vier-Kompartiment-Modell I gilt als Goldstandard zur Bestimmung der Körperzusammensetzung. Da die Bestimmung der einzelnen Methoden teilweise teuer und zeitaufwendig ist, werden in der Praxis die einfacheren Modelle bevorzugt. Tabelle 3 gibt einen groben Überblick über die Körperzusammensetzung vom Säugling bis zum Erwachsenen nach dem Vier-Kompartiment-Modell I. Für die Interpretation der Daten sind jedoch auch die Körpergröße und der Trainingszustand der Probanden von großer Bedeutung [ELMADFA und LEITZMANN, 2004].

	Säugling	Kleinkind	Erwachsener	Übergewichtiger
Körpergewicht (kg)	3,5	20	70	100
Wasser (%)	69	62	60	47
Protein (%)	9,5	14	17	13
Fett (%)	16	20	17	35
Rest (%)	3	4	6	5

Tabelle 3: Einfluss von Alter und Gewicht auf die Zusammensetzung des gesamten Körpers [ELMADFA und LEITZMANN, 2004]

2.3.1. Berechnungen der Körperzusammensetzung mit Hilfe der BIA

Aus den Parametern Alter, Geschlecht, Gewicht, Resistanz und Reaktanz wird das Gesamtkörperwasser ermittelt. Grundlage dafür ist, dass der Impedanz-Index ($\text{Körpergröße}^2 / \text{Resistenz}$) signifikant für die Bestimmung des TBW ist [KUSHNER et al, 1992]. Mit Hilfe der BIA können das TBW und das ECW bestimmt werden. Daraus lassen sich weitere Parameter (wie in Abb. 2 dargestellt) berechnen:

$$\text{FFM} = \text{TBW} / 0,732$$

$$\text{FM} = \text{Körpergewicht} - \text{FFM}$$

$$\text{BCM} = \text{FFM} \cdot \text{PA} \cdot \text{Konstante}$$

$$\text{ECM} = \text{FFM} - \text{BCM}$$

$$\text{ICW} = \text{TBW} - \text{ECW}$$

[KUSHNER et al, 1992]

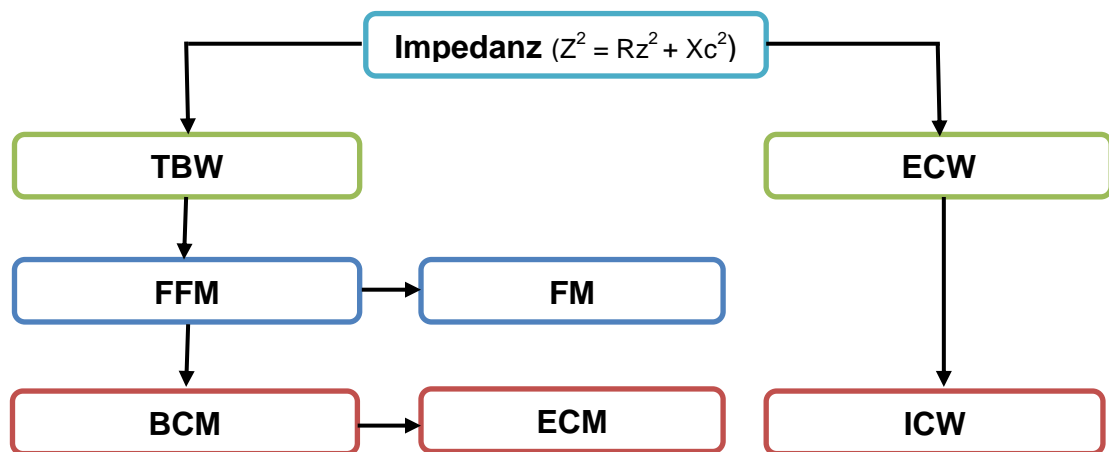


Abbildung 2: Schematische Darstellung der Berechnung der Körperkompartimente

Fehler bei der Durchführung der Impedanzmessung und weitere Faktoren (z.B. Alter, Größe, Gewicht, Erkrankung etc.) müssen stets berücksichtigt werden, da sie sich im Mehrkompartimentmodell potenzieren können. Die Hydratation der FFM ist nur bei gesunden Menschen konstant (Faktor 0,732). Krankheiten können zu hochsignifikanten Abweichungen dieser Konstante führen. Trotz dieser Limitierungen werden die oben genannten Formeln zur Berechnung der Körperzusammensetzung herangezogen. Es gibt heute eine Vielzahl von Formeln, welche das Alter, das Geschlecht, die ethnische Herkunft und die Grunderkrankung

kung (z.B. Adipositas, HIV-Erkrankung) berücksichtigen [LUKASKI und BOLONCHUK, 1988].

2.3.2. Wasserhaushalt

Als Wasserhaushalt wird die Gesamtheit der Regulationsmechanismen und Vorgänge im menschlichen Organismus, die zur Aufnahme oder Ausscheidung von Wasser führen, bezeichnet [BROCKHAUS, 2004]. Körperflüssigkeiten und ihre Zusammensetzungen beeinflussen den gesamten Stoffwechseltransport und Stoffumsatz des Körpers, das Wachstum, die Ernährung und Ausscheidung. Deswegen ist der Erhalt des Körperwassers und der Elektrolyte für das Überleben des Organismus von großer Bedeutung. Verschiedene Regulationsmechanismen sorgen für ein konstantes Gleichgewicht. Eine Störung dieses Gleichgewichts kann zu schwerwiegenden Erkrankungen führen [BIESALSKI, 2010].

Die mengenmäßig wichtigste Komponente ist das **Gesamtkörperwasser (TBW)**. Bei Frauen beträgt es im Durchschnitt zwischen 50-60% und bei Männern im Durchschnitt zwischen 55-65% des Körpergewichts [BIESALSKI, 2010]. Bei sehr muskulösen Menschen kann das TBW auf 70-80% ansteigen, und bei adipösen auf 45-50% absinken [BIA-KOMPENDIUM, 2005]. Mit folgender (vereinfachten) Gleichung kann das TBW bei einem gesunden Menschen berechnet werden, falls kein BIA-Gerät zur Verfügung steht:

$$\text{Gesamtwassergehalt (l)} = \text{Körpermasse (kg)} \times 0,6 \text{ (bei Männern)}$$

$$\text{Gesamtwassergehalt (l)} = \text{Körpermasse (kg)} \times 0,5 \text{ (bei Frauen)}$$

[GEROK et al, 2007]

Das TBW ist abhängig von Alter, Geschlecht, Körperfettanteil und Körpergewicht des Menschen, wohingegen der relative Wassergehalt der fettfreien Masse (LBM) mit 73% konstant ist [BIESALSKI, 2010]. Da der Wassergehalt durch das Verhältnis von LBM zum Fettgewebe bestimmt wird, verfügen adipöse Menschen über relativ weniger Wasser, als magere Menschen. Das Alter beeinflusst das TBW insofern, dass Neugeborene auf Grund des relativ großen Ext-

razellulärums den prozentuell höchsten Anteil an Wasser aufweisen. Im Laufe des Alters sinkt dieser Anteil ab [HARTIG et al, 2004].

Ein Defizit des TBW von etwa 5% des Körpergewichts (das entspricht ca. 8-10% des TBW) führt bereits zu klinisch deutlich erkennbaren Störungen. Erhöht sich dieses Defizit des TBW um weitere 5% des Körpergewichts (entsprechend ca. 15-20% des TBW) entstehen schwerwiegende Störungen inklusive Kreislaufinsuffizienz [GEROK et al, 2007]. Die Symptome und Zeichen einer **Dehydration** lassen sich auf die Folgen der Zellhydratation zurückführen:

- „Trockene Haut und Schleimhäute, verminderter Hautturgor,
- rasche Abnahme des Körpergewichts,
- gesteigertes Durstgefühl,
- Muskelschwäche, -schmerzen, -krämpfe,
- gesteigerte Atmung, erhöhte Körpertemperatur in ausgeprägten Fällen,
- Schwindelzustände, Kollapsneigung,
- Tachykardie (beschleunigter Puls), Zeichen der peripheren Vasokonstriktion, Blutdruckabfall,
- Bewusstseinsstörungen (Bewusstseinsstrübung bis hin zu Koma), insbesondere bei älteren Personen“ [GEROK et al, 2007].

Ein Überschuss an Wasser (**Hyperhydratation**) entsteht, wenn die körpereigenen Regulationsmechanismen zur Kompensation nicht ausreichen. Die Hauptursachen neben Nieren-, Herz- oder Leberinsuffizienz mit Ödembildung sind „Traumen, fehlerhafte Infusionstherapie mit Überinfusion, ärztliche Maßnahmen oder Überdruckbeatmung“ [GEROK et al, 2007].

Ein Überschuss an Wasser bewirkt zunächst eine Hypervolämie. Es entsteht ein vermehrter Rückfluss zum Herzen und die kardialen Füllungsdrücke steigen an. Dadurch kann vor allem bei älteren Menschen und Patienten mit bereits bestehenden Herzerkrankungen, eine Herzinsuffizienz ausgelöst werden. Der erhöhte kardiale Füllungsdruck bewirkt des Weiteren die Bildung interstitieller Ödeme in Lunge, Leber, Magen-/ Darmwand sowie Haut-/Unterhautgewebe. Die klinischen Symptome einer Überwässerung sind

- „Vermehrter Hautturgor und Ödembildung,

- rasche Zunahme des Körpergewichts,
- Dyspnoe (erschwerzte Atemtätigkeit), Tachypnoe (überhöhte Atemfrequenz), verschärftes Atemgeräusch, eventuell Raschelgeräusche (Flüssigkeitslunge und Lungenstauung),
- Bewusstseinsstrübung bis zum Koma“ [GEROK et al, 2007].

Die Therapie der Hyperhydration besteht aus Restriktion zusätzlicher Flüssigkeitszufuhr, Injektion eines rasch wirksamen Schleifendiuretikums (Furosemid 40mg) in bedrohlichen Fällen und Oberkörperhochlagerung. Die Behandlung der ursprünglichen Erkrankung liegt im Vordergrund [GEROK et al, 2007].

2.3.3. Intra- und Extrazelluläres Wasser

Das TBW verteilt sich im gesamten Körper in 2 verschiedenen Bereichen, nämlich dem intrazellulären Wasser (ICW) in den Zellen und dem extrazellulären Wasser (ECW) außerhalb der Zellen [BIESALSKI, 2010].

Das ICW besteht bei einem gesunden Erwachsenen etwa aus 66% des TBW; das entspricht etwa 40% des Körpergewichts. Die verbleibenden 33% sind extrazellulär und entsprechen etwa 20% des Körpergewichts. Das ECW unterteilt sich des Weiteren in Plasma, interstitielle Flüssigkeit und transzelluläre Flüssigkeit (siehe Abb. 3) [BIESALSKI, 2010].

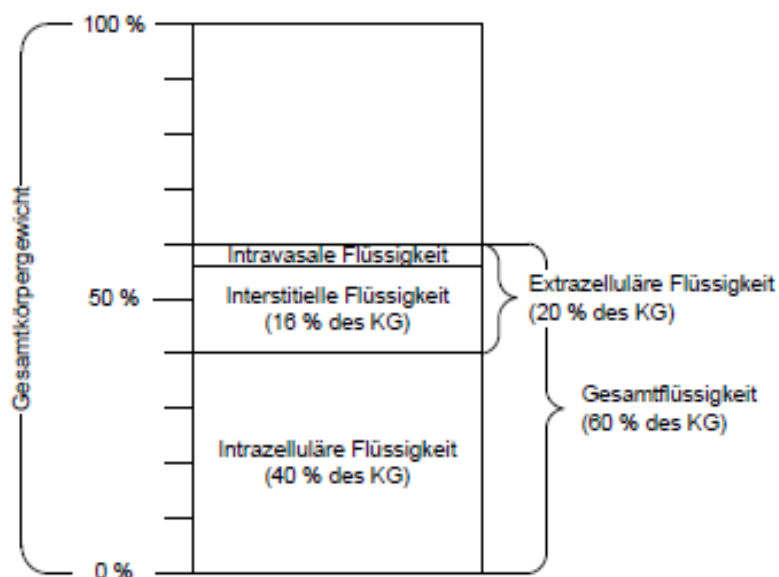


Abbildung 3: Anteil des Wassers in den verschiedenen Flüssigkeitsräumen am Gesamtkörpergewicht [SCHLEY, 1981]

Die Elektrolytzusammensetzung im ICW verhält sich entgegengesetzt zu jener im ECW. So weist das ICW einen hohen Gehalt an Kaliumionen ($K^+ = 140\text{mmol/l}$) und einen niedrigen Gehalt an Natriumionen ($Na^+ = 14\text{mmol/l}$) auf, wohingegen das ECW einen hohen Gehalt an Natriumionen ($Na^+ = 140\text{mmol/l}$) und einen niedrigen Gehalt an Kaliumionen ($K^+ = 4,5\text{ mmol/l}$) hat. Der gesamte Bereich, in dem sich die Zellen befinden, nennt sich „milieu intérieur“. Die Zusammensetzung ist ausschlaggebend, dass die Körperzellen lebens- und funktionsfähig sind. Somit ist das ECW dafür verantwortlich, dass Nährstoffe, Elektrolyte und Sauerstoff zur Zelle und Stoffwechselprodukte von der Zelle weg zu transportieren. Bei einem Anstieg des ECW kann es zur Bildung von Ödemen kommen. Diese können aber auch bei einer Hypalbuminämie (Abnahme der Albumine im Blut) entstehen. Die Zellmembran bildet die Schaltfläche und stellt bei der BIA- Messung den Kondensator dar [BIESALSKI, 2010].

2.3.4. Wasserbalance

Die Wasserbalance ist ein Parameter, der bei der Auswertung der BIA-Messung entsteht. Sie ermöglicht eine genauere Beurteilung des Wasserhaushaltes durch die Darstellung des Verhältnisses zwischen ICW und ECW. Die Wasserbalance stellt die Perzentilen des Verhältnisses von ECW [%] zu BCM dar (siehe Abb. 4). Liegen die Werte im Bereich des Medians (0), dann sind sie unauffällig. Ist der Wert größer als +100 (größer der 95% Perzentile), weist das auf einen hohen Anteil ECW hin, wohingegen ein Wert kleiner als –100 (kleiner der 5% Perzentile) eine relativ trockene ECM beschreibt [Leitfaden BIA-Auswertung, 2011].

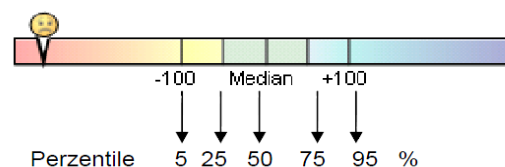


Abbildung 4: Wasserbalance-Darstellung mit Hilfe eines Balken [Leitfaden BIA-Auswertung, 2011]

2.4. Veränderungen der Körperzusammensetzung im Alter

Die Körperzusammensetzung ist nicht nur geschlechts-, sondern auch altersspezifisch. Das durchschnittliche Körpergewicht steigt bis zur fünften bis sechsten Lebensdekade an. Danach kann ein Gewichtsverlust aus vielerlei Gründen beobachtet werden [SUTER, 2008]. Im höheren Alter (~70 Jahre +) verändert sich nicht nur der Normalbereich des BMI. Auf Grund von Wirbelsäulenverkrümmungen, Bettlägerigkeit oder Ähnlichem wird es schwieriger, die exakte Körpergröße zu bestimmen [BIESALSKI, 2010]. Das TBW, die Knochenmasse, die FFM und die Muskelmasse nehmen ab [HARTIG et al, 2004]. Das führt zu einer geringeren metabolischen Aktivität der FFM und somit zu einem geringeren Anteil an stoffwechselaktivem Gewebe. Nur der Anteil des Körperfettes steigt an (siehe Tab. 4). Inwieweit sich die Körperzusammensetzung im zunehmenden Alter verändert, ist individuell, wodurch das Ausmaß der Körperveränderung sehr variabel und von der Entwicklung des Körpergewichts abhängig ist [BOSY-WESTPHAL et al, 2005].

Altersbedingte Veränderungen der Körperzusammensetzung	
Fettfreie Masse ↓	Muskelmasse ↓
	Innere Organe ↓
	Körperwasser ↓
	Knochenmasse ↓
Körperfett ↑	Umverteilung: intraabdominelles Fett ↑

Tabelle 4: Altersbedingte Veränderungen der Körperzusammensetzung (↑ Zunahme, ↓ Abnahme) [VOLKERT, 2004]

2.5. Medizinische Grundlagen

Da die Studie in einem Krankenhaus bei Patienten auf der Intensiv- und Normalstation durchgeführt wird, werden im folgenden Kapitel einige Grundlagen erläutert.

2.5.1. Stationär betreuter Patient / Intensivpatient

Bei einem Patienten handelt es sich um eine Person, die aus unterschiedlichen Gründen (z.B. wegen eines Unfalls) medizinische Betreuung benötigt. Ein stationär aufgenommener Patient beansprucht eine spezielle Behandlung, um seine Schmerzen/Verletzungen/Erkrankung zu heilen, und eine speziell für ihn abgestimmte Ernährung. Der Krankenhausverlauf und die Mortalität sind unter anderem auch vom Ernährungszustand abhängig, welcher wiederum einen großen Einfluss auf den Wasserhaushalt des Patienten ausübt. So wurde in der Studie von Kohlenberg-Müller et al. mehrfach gezeigt, dass ein mangelernährter Patient eine längere Liege- und Verweildauer im Krankenhaus hat [KOHLENBERG-MÜLLER et al, 2004].

Das bedeutet aber nicht, dass die zugeführte Energiemenge eines kritisch kranken Patienten über dem aktuellen Energieumsatz liegen soll. Für den Patienten in der **Akutphase** sind **15-20kcal/kg KG pro Tag** ausreichend. Bei entsprechender klinischer Stabilisierung kann die Zufuhr langsam auf **25-35kcal/kg KG pro Tag** erhöht werden [KREYMANN et al, 2003].

Der einfachste Parameter zur Bestimmung des Ernährungszustandes des Patienten ist der BMI. Bei Intensivpatienten kann es jedoch durch die unterschiedlichen Verletzungen zu kapillaren Schrankstörungen in der Mikrozirkulation führen, wodurch Veränderungen des Wasserhaushalts entstehen. Sie verfälschen den BMI stark. Dadurch können Gewichtsveränderungen auftreten, welche nicht auf den Ernährungszustand zurückzuführen sind. Wenn die Abnahme des Körpergewichts insgesamt größer als 10% ist, kommt es zum Abstieg der Morbidität. In diesem Fall eignet sich die bioelektrische Impedanzanalyse sehr gut, um den Verlauf der gesamten Körperzusammensetzung des Patienten zu verfolgen, die Gewichtsveränderung zu interpretieren und rechtzeitig eine Gegenmaßnahme zu setzen [HARTL und RITTLER, 2002].

2.5.2. Polytrauma

Der Begriff des Traumas beschreibt ein von außen (mechanisch, thermisch, chemisch) eintretendes Ereignis. Der Patient leidet an einem akut entstandenen

körperlichen Schaden mit Gewebeteilung und/oder Zerstörung und einem Funktionsausfall. Der Begriff des **Polytraumas** hat jedoch keine genaue (bzw. mehrere) Definition(en). Auf der einen Seite beschreibt es, dass der Patient mindestens drei Verletzungen hat, von denen eine lebensbedrohlich ist. Es kann auch mit Hilfe des ISS (Injury Severity Scale) beschrieben werden [OESTERN, 2008]. Folgende Scores sind für die Beschreibung des Polytraumas von Bedeutung und teilweise Einschlusskriterien der Studie:

- **ISS** – Injury Severity Scale. Die ISS beschreibt den Schweregrad der Verletzung. Bei einer ISS ≥ 16 wird die Verletzung als Polytrauma eingestuft. Je höher der ISS, desto schwerer ist der Patient verletzt [OESTERN, 2008].
- **TRISS** – Trauma and Injury Severity Score. Der TRISS dient der Prognoseerstellung und der Schweregrad- Adjustierung [OESTERN, 2008].
- **APACHE II** – Acute Physiology And Chronic Scoring System. Das APACHE II besteht aus drei Teilen (physiologischer Score, Alter, vorbestehende chronische Erkrankungen). Es sind maximal 71 Punkte erreichbar (aus der Summe aller drei Teile), wobei die Letalität mit steigender Punktezahl zunimmt [BÜHREN und TRENTZ, 2006].
- **SAPS II** – Simplified Acute Physiology Score II. Der SAPS II ist dem APACHE-System sehr ähnlich, wird aber aus 4 Teilen berechnet [BÜHREN und TRENTZ, 2006].
- **SAPS III** - Simplified Acute Physiology Score III.
- **TISS** – Therapeutic Intervention Scoring System. Das TISS beschreibt die benötigte Pflegeintensität des Patienten, und ist in vier Intensivpflegekategorien eingeteilt: I (< 10 Punkte), II (10-19 Punkte), III (20-39 Punkte), IV (> 40 Punkte) [BÜHREN und TRENTZ, 2006].

2.5.3. Posttraumatische und postoperative Ödeme

Der Begriff „Ödem“ beschreibt ein Geschwulst bzw. eine Schwellung, infolge von wässriger (seröser) Flüssigkeitsansammlung in den Gewebespalten. Posttraumatische und postoperative Ödeme entstehen unmittelbar nach dem Trauma am Ort der Verletzung. Dabei werden kleine Blut- und Lymphgefäßen zer-

rissen oder zerstört, wodurch meistens auch Hämatome an denselben Stellen entstehen. Obwohl sich die Ödeme nach Tagen bis Wochen selbst zurückbilden können, ist eine physikalische Ödemtherapie sinnvoll. Dadurch wird eine stärkere Ödembildung verhindert, die Schmerzen und die Infektionsgefahr reduziert und die Leistungs- und Arbeitsfähigkeit schneller wieder hergestellt. Mit Hilfe von Lymphdrainagen und anschließender Mobilisierung des Organismus (wenn möglich), kann das Ödem über die Lymphgefäße schneller abfließen [HERPERTZ, 2010].

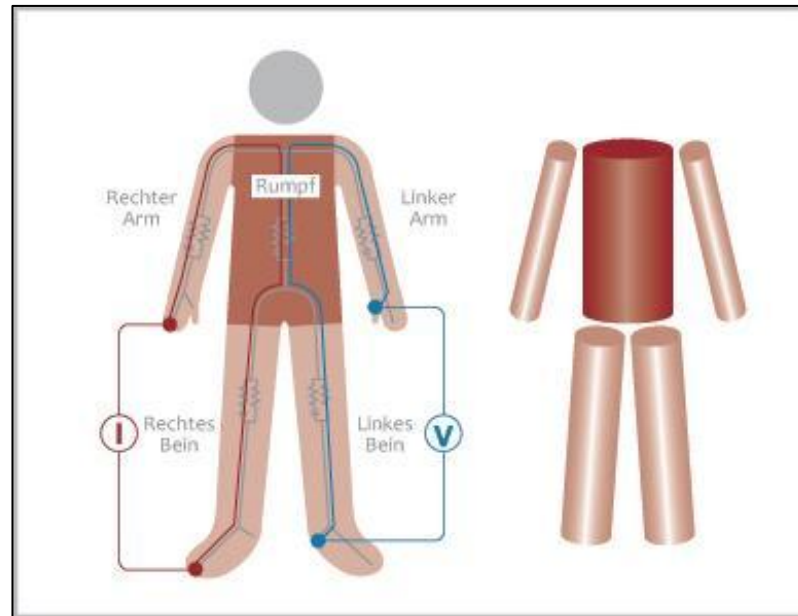
3. Bioelektrische Impedanzanalyse (BIA)

Die BIA ist eine weltweit verbreitete Methode zur Bestimmung der Körperzusammensetzung des Menschen. Sie wird seit mehr als 20 Jahren in der Ernährungsmedizin eingesetzt [SPRINGMANN, 2007]. Die Technologie ist einfach, schnell und nicht invasiv. Die European Society for Clinical Nutrition and Metabolism (ESPEN) hat 2004 die Basis für erfolgreiches Arbeiten mit der BIA beschrieben [KYLE et al, 2004, part II]. Um die Interpretation und Genauigkeit der Messergebnisse der BIA zu diskutieren und zu evaluieren, haben sich die NIH Office of Medical Applications of Research, das National Institute of Diabetes and Digestive and Kidney Diseases, das National Institute of Child Health and Human Development, das National Institute of Aging, das National Heart, Lung and Blood Institute und das United States Department of Agriculture im Dezember 1994 zu einer Konferenz versammelt. Auf Grund des geringen Risikos und der Einfachheit der BIA-Messung bedarf es keiner formalen Sicherheitsstandards [NIH Technol Assess Statement 1994].

3.1. Physikalische Grundlagen

Der bei der Studie verwendete phasensensitive Impedanzanalysator BIACORPUS RX 4000 misst die elektrischen Eigenschaften des menschlichen Körpers mit Hilfe von sinusförmigem Wechselstrom mit 50 kHz Frequenz und einer konstanten Stromstärke an definierten Stellen am Hand- und Fußgelenk. „Der genaue Weg des Stroms durch den Körper ist aber unbekannt.“ [MÜLLER, 2000]

Physikalisch kann der menschliche Körper als Zylinder (siehe Abb. 5) mit einem einheitlichen Querschnitt betrachtet werden [PIRLICH et al, 1999]. Das BIACORPUS SEGMENTAL MODELL unterscheidet die Arme, Beine und den Rumpf als einzelne Zylinder (Segmente). Die Arme und Beine zusammen sind für ca. 88-94% des Körperwiderstandes verantwortlich; der Rumpf nur für ca. 6-12% des Widerstands [FOSTER und LUKASKI, 1996].



**Abbildung 5: Darstellung des menschlichen Körpers mit Hilfe von Zylindern [Internet-
quelle II]**

Der gesamte Körper besteht aus einem Netzwerk von Widerständen und Kondensatoren. Die extra- und intrazellulären Flüssigkeitskompartimente bilden die Widerstände und die aus einer Lipiddoppelschicht bestehende Zellmembran den Kondensator [PIRLICH et al, 1999].

Daraus lassen sich folgende Grundlagen für die BIA- Analyse formulieren:

- Die Körperflüssigkeiten und der hohe Wasseranteil in der fettfreien Masse sind gute Leiter. Das Körperfett wirkt als Isolator [BIESALSKI, 2010]. Die BIA kann die Fettmasse nicht direkt messen, sondern nur indirekt berechnen [MÜLLER, 2000].
- Je größer der Querschnitt des Körpers ist, desto geringer ist der Widerstand [PIRLICH et al, 1999].

Die Körperhydration steht im direkten Bezug zu den Körperwiderständen, weshalb die BIA- Messung ursprünglich für die Bestimmung des Gesamtkörperwassers herangezogen wurde [EDLINGER, 2002].

3.1.1. Impedanz, Resistanz und Reaktanz

Eine wichtige mathematische Grundlage für die im folgenden Kapitel beschriebenen Parameter, ist das Ohm'sche Gesetz:

$$U = R \cdot I$$

$$\text{Spannung [V]} = \text{Widerstand [Ohm]} \cdot \text{Stromstärke [A]}$$

Die Leitfähigkeit ist abhängig von der Masse bzw. vom Wasser- und Elektrolytgehalt des Körpers bzw. der Zellmembranen [MÜLLER und BOSY-WESTPHAL, 2000]. Blut und Urin haben eine hohe Leitfähigkeit, Muskeln eine mittlere und Knochen, Fett und Luft eine geringe bis keine Leitfähigkeit [NIH Technol Assess Statement 1994].

- Skelett: 3500 Ω/cm
- Fett: 2500 Ω/cm
- Muskel: 250 Ω/cm
- Blut: 120 Ω/cm [EDLINGER, 2002]

Bei der Durchführung einer BIA- Messung setzt der Körper dem Wechselstrom einen Wechselstromwiderstand entgegen, der als „**Bioelektrische Impedanz**“ (Z) bezeichnet wird. Sie besteht aus den primären Messgrößen Resistanz (Rz) und Reaktanz (Xc). [BOSY-WESTPHAL et al, 2006 (b)] und lässt sich durch folgende Gleichung berechnen:

$$Z^2 = R_z^2 + X_c^2 \quad [\text{PIRLICH et al, 1999}]$$

Die **Resistenz** ist der ohmsche Widerstand, der dem Strom beim Durchfließen von nicht zellulär gebundener Körperflüssigkeit entgegengesetzt wird. Sie ist flüssigkeitsabhängig und verhält sich dem TBW umgekehrt proportional. Die **Reaktanz** ist der kapazitive Widerstand, der durch die Körperzellen bzw. deren Zellmembranen bewirkt wird. Sie ist abhängig vom Zustand und der Masse der Körperzellen und ermöglicht Rückschlüsse auf die Zellmasse und das zellulär gebundene Körperwasser. Aus der Resistanz und der Reaktanz lassen sich die sekundären Parameter wie das TBW und BCM berechnen [BOSY-WESTPHAL et al, 2006 (b)].

Da die Berechnung der Körperkompartimente auf der Annahme beruht, dass der menschliche Körper ein Zylinder ist, lässt sich mathematisch folgende Formel ableiten:

$$Z = \rho \cdot \frac{L}{A}$$

Z – Gesamtwiderstand

ρ – Konstante

L – Länge des Leiters

A – Querschnittsfläche des Leiters

Durch Multiplizieren der Formel auf beiden Seiten mit der Körpergröße (L) und Umformen, erhält man folgende Formel:

$$V = \rho \cdot \frac{L^2}{Z}$$

Auf den menschlichen Körper übertragen lautet die Formel:

$$TBW = \rho \cdot \frac{ht^2}{Rz}$$

TBW = Gesamtkörperwasser [l]

Rz = Resistanz [Ω]

ht = Körpergröße [cm]

ρ = Konstante

[Leitfaden BIA-Auswertung, 2011]

Foster und Lukaski zeigen, dass die Impedanz bei Ganzkörpermessungen unproportional verteilt ist. Bei ca. 50% des Körpergewichts entfallen nur 10% der Impedanz auf den Rumpf, wohingegen die distalen Extremitäten mehr als 50% der Impedanz ausmachen. Eine Änderung des Querschnitts im Rumpf hat nur eine minimale Impedanzänderung zur Folge. Eine Veränderung der Extremitäten (z.B. Ödeme im Unterschenkel) bewirkt eine unproportional hohe Impedanzänderung [FOSTER und LUKASKI, 1996]. In Tabelle 5 sind die Referenzwerte für Resistanz und Reaktanz eines gesunden Erwachsenen angegeben:

Resistanz Rz	Messbereich ca. 350-900 Ohm
450-650 Ohm	Relativer Normalbereich
< 450 Ohm	Hoher Wassergehalt
> 750 Ohm	Dünne Gliedmaßen, geringer Wassergehalt
Reaktanz Xc	Messbereich ca. 20-100 Ohm
45-65 Ohm	Relativer Normalbereich
< 35 Ohm	Wassereinlagerung extrazellulär bzw. geringe Muskulatur (dicke Gliedmaßen)
> 70 Ohm	Extrazellulär trocken, sehr dünne Gliedmaßen

Tabelle 5: Messbereiche von Resistanz und Reaktanz [Leitfaden BIA-Auswertung, 2011]

3.1.2. Impedanz-Index

$$\text{Impedanz-Index} = \frac{\text{Körpergröße (cm)}^2}{\text{Resistanz}}$$

Der Impedanz-Index zeigt, dass ein enger Zusammenhang zwischen der Resistanz und dem Gesamtkörperwasser besteht. [KUSHNER, 1992].

3.1.3. Phasenwinkel

Die als Kondensatoren wirkenden Zellmembranen verursachen im Wechselstromkreis eine Zeitverschiebung zwischen dem Strom- und dem Spannungsmaximum. Der Phasenwinkel (PA) wird durch die dabei entstehende Phasenverschiebung berechnet [BIESALSKI, 2010]. Abbildungen 6 und 7 zeigen, wie der Strom der Spannung bei einer intakten und bei einer geschädigten Zelle „voraus eilt“:

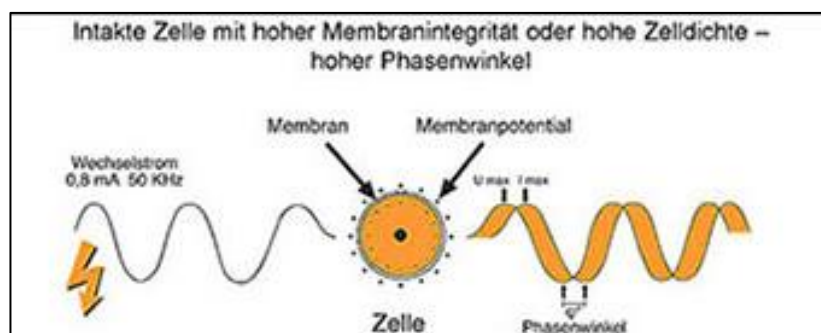


Abbildung 6: Darstellung des Phasenwinkels inklusive der Phasenverschiebung bei einer intakten Zelle [Das BIA-Kompodium, 2005]

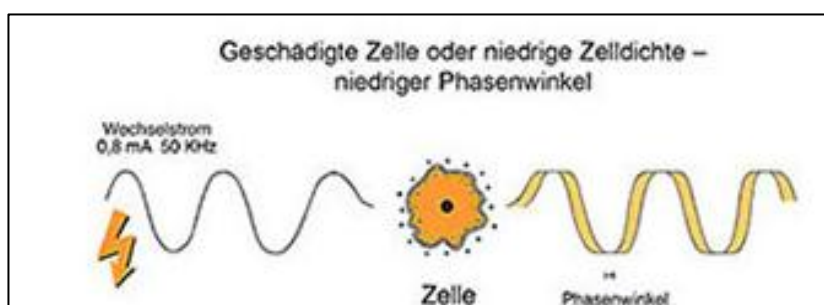


Abbildung 7: Darstellung des Phasenwinkels inklusive der Phasenverschiebung bei einer geschädigten Zelle [Das BIA-Kompodium, 2005]

Der Phasenwinkel, welcher sich aus Resistanz und Reaktanz berechnet (theoretische graphische Darstellung siehe Abb. 8), ermöglicht eine gewichtsunabhängige Aussage. Nach mehr Studien ist der Phasenwinkel ein signifikanter Parameter bezüglich der Mortalität der Patienten unterschiedlicher Erkrankungen [STOBÄUS et al, 2010].

$$PA \alpha = \frac{\text{arc-Tangens} \left(\frac{X_c}{R_z} \right) \cdot 180^\circ}{\pi}$$

[STOBÄUS et al, 2010]

bzw.:

$$PA \alpha = \arctan X_c/R_z$$

[PIRLICH et al, 1999]

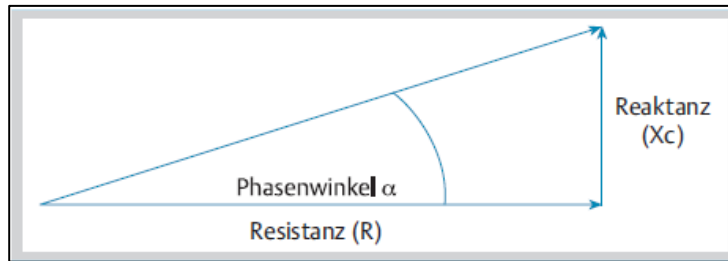


Abbildung 8: Theoretische Herleitung des Phasenwinkels [STOBÄUS et al, 2010]

Bis zum jetzigen Zeitpunkt [STOBÄUS et al, 2010] ist die konkrete Bedeutung des Phasenwinkels noch nicht vollständig geklärt. Laut Definition ist der Phasenwinkel positiv mit der Reaktanz und negativ mit der Resistanz assoziiert [BAUMGARTNER et al, 1988]. Unterschiedliche Studienergebnisse setzen einen hohen Phasenwinkel mit einer intakten Zellmembran, einer guten Zellfunktion und einem guten Ernährungszustand in Verbindung. Ein niedriger Phasenwinkel spiegelt hingegen einen Zelltod oder eine klinisch relevante Mangelernährung wider, da er häufig mit einer erhöhten ECM und einer verringerten BCM einhergeht [STOBÄUS et al, 2010; GUPTA et al, 2004]. In Tabelle 6 sind die Messbereiche des Phasenwinkels bei gesunden Erwachsenen dargestellt.

Phasenwinkel PA		Messbereich ca. 2°-12°
Frauen	Männer	
< 2,0°	< 2,5°	Nur bei Inaktivitätstrophie mit Muskelschwund möglich
< 4,5°	< 5,0°	Wassereinlagerung extrazellulär bzw. geringe Muskulatur (dicke Gliedmaßen), schlechter Ernährungszustand und/oder Mangelernährung
4,5-7,5°	5,0-8,0°	Relativer Normalbereich
> 7,0°	> 8,0°	Extrazellulär trocken, dünne Gliedmaßen, viel Muskulatur, sehr guter Ernährungs- und Trainingszustand

Tabelle 6: Messbereiche des Phasenwinkels [Leitfaden BIA-Auswertung, 2011]

Beeinflussung des Phasenwinkels

Nach Bosy-Westphal, Danielzik et. al. sind die Messbereiche des Phasenwinkels von Alter und BMI abhängig und können bei einem gesunden Erwachsenen im Durchschnitt zwischen $5\text{--}7,1^\circ$ liegen [BOSY-WESTPHAL et al, 2006 (a)]. Die Studie von Torres et al. hat ergeben, dass gesunde Leistungssportler ($n=158$; Alter: 13-48 Jahre), welche täglich über drei Stunden Sport betreiben, einen Phasenwinkel von über $9,5^\circ$ erreichen können [TORRES et al, 2008].

Mit steigendem Alter kommt es zur Abnahme der Muskelmasse, wodurch sich der Reaktanzwert verringert. Die Abnahme des TBW führt zu einem Anstieg des Resistanzwertes. Da Männer eine höhere BCM haben als Frauen, weisen Männer tendenziell auch einen höheren Phasenwinkel auf. Ein hoher BMI hat zur Folge, dass eine große Anzahl von Zellen (Fett- und Muskelzellen) vorhanden sind. Je höher der BMI einer Person ist, desto mehr Zellen liegen vor, desto höher sind die Reaktanz und der Phasenwinkel [STOBÄUS et al, 2010]. Der Anstieg des Phasenwinkels ist aber nur bis zu einem BMI von 30kg/m^2 erkennbar [BOSY-WESTPHAL et al, 2006 (a)]. Bei Adipösen mit einem $\text{BMI} \geq 40\text{ kg/m}^2$ hat die fettfreie Masse einen höheren Hydrationsstatus, ein vergrößertes Flüssigkeitsvolumen und die Zellmembranen haben eine verringerte Funktionalität. Das könnte der Grund sein, weshalb bei massiv Adipösen der Phasenwinkel reduziert ist [BOSY-WESTPHAL et al, 2006 (a)].

Auch die Studie von Barbosa-Silva et al. hat ergeben, dass der Phasenwinkel bei Frauen signifikant ($p < 0,001$) niedriger ist, als bei Männern. Des Weiteren wird der Phasenwinkel signifikant von Alter, BMI und Fettmasse [%] beeinflusst [BARBOSA-SILVA et al, 2005].

Viele Studien belegen, dass kranke Personen einen niedrigeren PA aufweisen, als die gesunde Referenzgruppe. Ein niedriger Phasenwinkel zeigt sich als „**Indikator für einen ungünstigen klinischen Ausgang**“ (Überlebenszeit etc.) [STOBÄUS et al, 2010]. Parallel dazu hat eine Studie an 112 Altenheimbewohnern gezeigt, dass der Anstieg des Phasenwinkels um je ein Grad mit einer signifikanten Verbesserung der körperlichen Funktion und Belastbarkeit einhergeht [STOBÄUS et al, 2010].

3.1.4. BIVA – Bioelektrische Impedanzvektoranalyse

Die bioelektrische Impedanzvektoranalyse stellt die Reaktanz und die Resistanz als bivariate Vektoren im Verhältnis zur Körpergröße (in Metern) in einem Koordinatensystem (R_z/H bzw. X_c/H) graphisch dar. Dies ermöglicht eine detaillierte und graphische Sicht auf den Hydrationszustand des Patienten. Die Auswertung erfolgt mit Hilfe des Biavector-Nomogramms nach Prof. Antonio Piccoli (Universität Padua) [STOBÄUS et al, 2010].

Die Lage des Vektors ist für die Interpretation ausschlaggebend (siehe Abb. 9). Wenn sich die Resistanz verringert, verkürzt sich der Vektor und spiegelt dadurch einen Flüssigkeitsüberschuss (z.B. Ödeme) wider. Ein längerer Vektor entsteht bei einer verringerten Hydratierung. Wenn sich die Reaktanz verändert, kommt es zu einer Verschiebung des Vektors nach oben oder nach unten. In dieser Hinsicht kann eine niedrige Reaktanz mit einer verminderten Körperzellmasse und eine höhere Reaktanz mit einer hohen Anzahl an Körperzellen interpretiert werden [STOBÄUS et al, 2010].

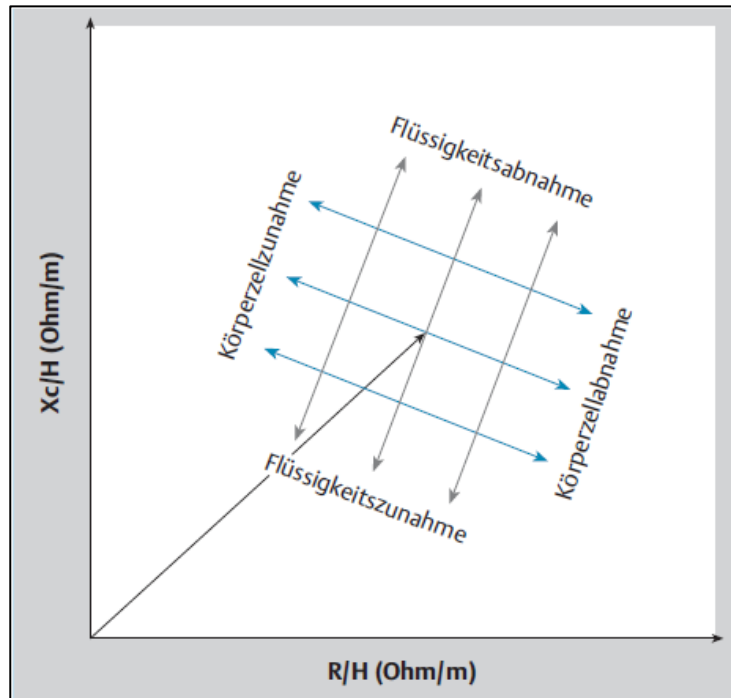


Abbildung 9: Interpretation der Vektormigration [STOBÄUS et al, 2010]

Obwohl sich der Phasenwinkel aus Resistanz und Reaktanz berechnet, kann mit Hilfe der BIVA der Hydrationsstatus genauer betrachtet werden. Ein Phasenwinkel von $5,1^\circ$ kann aus einem R_z/H -Wert von 258 und X_c/H von 23 Ohm/m, und aus einem R_z/H -Wert von 408 und X_c/H von 38 Ohm/m entstehen. Der Unterschied liegt darin, dass die Lage im Vektorgraph eine andere ist [STOBÄUS et al, 2010]. Somit können der Phasenwinkel und der Vektor gemeinsam folgendermaßen interpretiert werden:

- Hoher PA und kurzer Vektor → Patient ist adipös
- Niedriger PA und kurzer Vektor → Patient ist kachektisch
- Niedriger PA und langer Vektor → Patient ist schlank
- Hoher PA und langer Vektor → Patient ist athletisch

Im Vektorgraph werden die einzelnen Werte im Vergleich zu einer Referenzpopulation beschrieben. Das Referenzkollektiv wird in Form von drei Toleranzellipsen entsprechend der 50., 75. und 95. Referenzperzentile gesunder Populationen dargestellt. Die Ellipsen umfassen statistisch die 50% (grün), 75% (blau) und 95% (rot) Vertrauensgrenzen der zugrunde liegenden Referenzpopulation (siehe Abb. 10) [PICCOLI et al, 1994].

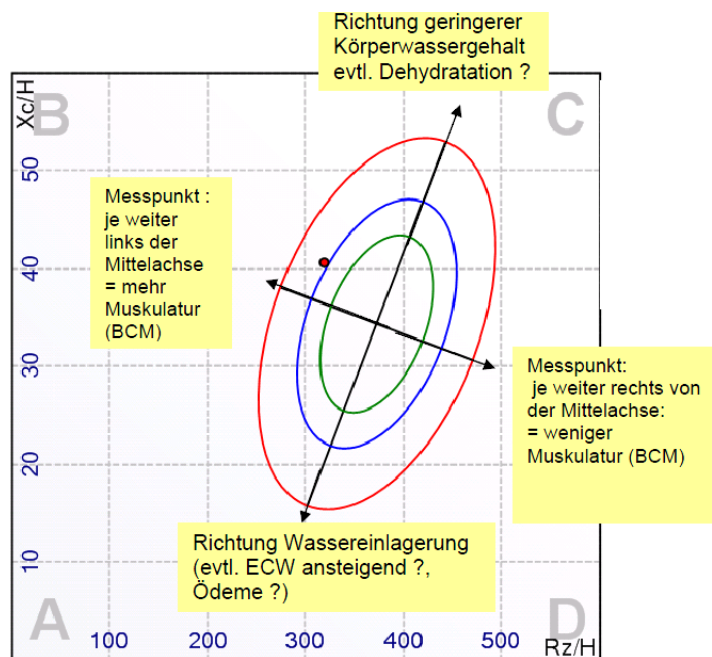


Abbildung 10: Interpretation der individuellen Vektorposition im Vektorgraph mit Hilfe der 50., 75. und 95. Referenztoleranzellipse [Leitfaden BIA-Auswertung, 2011]

Bei einem gesunden Probanden liegt die Vektorlage erfahrungsgemäß innerhalb der 75. Toleranzperzentile [PICCOLI et al, 2002]. Das Ziel ist, den individuellen Vektor innerhalb des 75. Perzentilenbereichs in die Nähe des „Referenz-Zielpunktes“ zu bringen [PICCOLI et al, 1994].

Die Lage des **Messpunktes** im Nomogramm gibt Auskunft über den Hydrations- und Ernährungszustands des Patienten im Verhältnis zur Normalbevölkerung/ Referenzpopulation [PICCOLI et al, 1994]. Der **RzXc-Graph** ermöglicht die Darstellung eines individuellen Vektors, welcher durch die Distanz zum Mittelwert der Referenzpopulation entsteht. Stets zu beachten ist, dass die Werte abhängig von Alter, Geschlecht, BMI und Rasse sind [PICCOLI et al, 2002].

Ergebnisse von BIA-Messungen sind in der “Third National Health and Nutrition Examination Survey” (NHANES III) in den Vereinigten Staaten gesammelt. In der NHANES III Population wurde mit Hilfe des RzXc-Graphen versucht, unterschiedliche Tendenzen und Muster zu erkennen. Die Daten von 10.222 Erwachsenen (5261 Männer und 4961 Frauen) wurden in drei unterschiedliche ethnische Gruppen (nicht-spanisch-weiße Probanden, nicht-spanisch-schwarze Probanden und mexikanische Amerikaner), in fünf Altersgruppen (20-29, 30-39, 40-49, 50-59 und 60-69 Jahre) und in drei BMI-Gruppen (19-24,9, 25-29,9 und 30-34,9 kg/m²) unterteilt [PICCOLI et al, 2002].

Sowohl Geschlecht, Alter, ethnische Zugehörigkeit als auch BMI beeinflussen den Vektor. Im Durchschnitt waren in allen drei ethnischen Gruppen die Vektoren bei den Frauen länger, als bei den Männern. Die nicht-spanischen-weißen Probanden hatten im Durchschnitt den kürzesten Vektor und den kleinsten Phasenwinkel im Vergleich zu den zwei anderen Gruppen in derselben BMI-Gruppe und Geschlecht. Das durchschnittliche Ergebnis vom BMI in jeder Altersgruppe, Geschlecht und ethnischer Gruppe zeigt, dass der Vektor von dünnen bis zu dicken Probanden von rechts nach links verläuft [PICCOLI et al, 2002].

3.2. Messung der Körperwiderstände/ Durchführung der Messung

Die Grundlage der BIA-Messung ist, dass der Proband auf einer nichtleitenden Unterlage in entspannter horizontaler Lage auf dem Rücken liegt. Die Arme und Beine sind vom Körper abgespreizt, sodass kein Körperkontakt besteht [STROH, 1995].

Um die BIA-Messung durchzuführen, werden jeweils 2 Elektroden an Hand- und Fußgelenk (insgesamt 8 Elektroden) angebracht. Dabei soll der Abstand zwischen Signal- und Messelektrode bei Erwachsenen mindestens 5cm betragen. Die in Abbildung 11 als rot dargestellten Elektroden setzen den Impuls und ab den schwarz dargestellten Elektroden erfolgt die Messung [PIRLICH et al, 2000]. Die Abbildung 12 zeigt die richtige Körperhaltung bei der Durchführung der Messung.

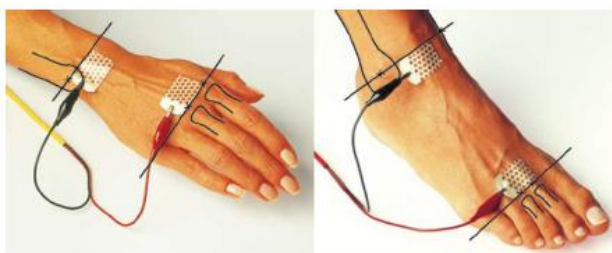


Abbildung 11: Richtige Platzierung der Elektroden [DÖRHÖFER und PIRLICH, 2007]



Abbildung 12: Körperhaltung bei der Durchführung einer BIA-Messung [Internetquelle III]

Bei der 1-Kanalmessung wird die BIA-Messung stets auf der rechten Körperseite (wenn möglich) durchgeführt. Die 4-Kanalmessung (segmental durchgeführte Messung), bei der beide Körperhälften gemessen werden, liefert detailliertere

Ergebnisse. Vor allem bei Wassereinlagerungen und lokalen Ödemen ist die segmentale Messung zu bevorzugen. Da der Rumpf ca. 10% des Ganzkörperwiderstands und gleichzeitig ca. 50% des Körpergewichts ausmacht, sind Veränderungen im Rumpf schwer messbar. Wenn die Änderungen der Extremitäten ebenfalls exakt bestimmt werden, kann auf den Rumpf rückgeschlossen werden [Leitfaden BIA-Auswertung, 2011].

3.2.1. Ermittlung der Daten

Das Messgerät der bioelektrischen Impedanzanalyse (BIACORPUS RX 4000-Messgerät) ist mittels einer USB-Anbindung an den Computer/Laptop angeschlossen. Die Daten werden direkt übertragen. Die Berechnungsformeln der Software BodyComp V 8.5 stammen aus einer der größten Validierungsstudien und wurden im American Journal of Clinical Nutrition veröffentlicht [SUN et al, 2003]. Neben den konkreten Messergebnissen ermöglicht das Programm auch eine graphische Darstellung (z.B. Nomogramm nach Piccoli, Verlaufskurven etc.) bestimmter Parameter, welche die Interpretation vereinfachen und den Verlauf der Daten (bei mehreren aufeinanderfolgenden Messungen) veranschaulichen.

3.3. Sicherheitsstandards der bioelektrischen Impedanzanalyse

Das National Institute of Health (NIH) nennt vier Gründe, weshalb die BIA-Messung keiner formalen Sicherheitsstandards bedarf.

1. Eine Frequenz von 50kHz kann sogar leicht reizbares Gewebe, wie z.B. Nerven oder die Herzmuskulatur nicht elektrisch reizen.
2. Es gibt keine Berichte über unerwünschte Ereignisse oder Folgen bei BIA-Messungen.
3. Die bei der BIA-Messung verwendeten 1mA sind eine relativ kleine Größe, welche sich unterhalb der Wahrnehmungsschwelle befindet.
4. Die Verwendung von Niedrigspannung oder Batterien minimiert das Risiko von Makroschocks [NIH Technol Assess Statement 1994].

Allgemein wird die BIA-Messung als ungefährlich eingestuft. Aber solange noch keine entsprechenden Daten vorliegen, sollten an Patienten mit einem Herz-

schrittmacher, Defibrillator oder anderen implantierten automatischen, elektrischen Geräten keine Messungen durchgeführt werden. Es kann nicht mit Sicherheit ausgeschlossen werden, dass auch niedrige Stromstärken zu unerwarteten Defibrillatoraktivierungen führen [PIRLICH et al, 1999].

3.4. Einflussgrößen

Da es für die Durchführung der BIA-Messung keine standardisierten Richtlinien gibt, sollen folgende Einflussfaktoren berücksichtigt werden, um einheitliche und vergleichbare Ergebnisse zu erhalten:

- Voraussetzung für die korrekte Durchführung einer BIA-Messung ist die exakte Bestimmung der Körpergröße mit einer Genauigkeit von 0,5cm und des Körpergewichts von 0,1kg. Eine Fehleinschätzung der Körpergröße um 2,5cm bzw. des Gewichts um 1kg führen zu falschen Ergebnissen des TBW um 1,0l bzw. 2,0l [MÜLLER, 2000].
- Der Patient soll sich in einem „normalen“ Hydrationszustand befinden, nicht exzessiv schwitzen oder dehydriert sein (mind. 12h vor der Messung keine körperliche Aktivität), keine Diuretika einnehmen, keinen Alkohol konsumieren, nicht an Leber-, Nieren- oder Herzinsuffizienz leiden und nicht stark unterernährt sein [MÜLLER, 2000].
- Die Hauttemperatur soll etwa 21°C betragen (das entspricht Raumtemperatur). Bettlägerige Patienten sollen vor der Messung abgedeckt werden [MÜLLER, 2000]. Eine Erhöhung der Körpertemperatur bewirkt einen Abfall der Impedanz. Eine Änderung um 1°C führt zu einer Abweichung des TBW von 0,4l [PIRLICH et al, 2000].
- Der Patient soll nüchtern sein. Die letzte Mahlzeit soll mindestens 4 Stunden zurückliegen, da es sonst zu einem Abfall der Impedanz führt [PIRLICH et al, 2000].
- Die korrekte Elektrodenplatzierung und vorherige Desinfektion der betreffenden Hautstellen mit Alkohol für den optimalen Halt der Elektroden ist Voraussetzung [MÜLLER, 2000]. Wenn der Abstand der Signal- und

Messelektrode zu gering gesetzt ist, bewirkt das einen Anstieg der Impedanz [PIRLICH et al, 2000].

- Der Patient soll mindestens 10min waagrecht in Ruhe liegen, bevor die Messung durchgeführt wird, da es in den ersten Minuten nach einer Lageänderung zu Impedanzänderungen von bis zu 5% kommen kann. In der optimalen Liegeposition sollen die Arme den Rumpf bzw. sich die Innenseiten der Beine nicht berühren (siehe Abb. 12). Bei Patienten, die z.B. aufgrund schwerer Adipositas nicht imstande sind die Beine effektiv zu separieren, kann mit Hilfe von einer nichtleitenden Matte oder Lacken die Leitfähigkeit verhindert werden [MÜLLER, 2000].
- Da die bioelektrische Impedanzanalyse auf einem geometrischen Modell basiert, können Patienten mit Amputationen nicht gemessen werden. Bei Personen mit ausgeprägter Körperasymmetrie kann die Messung zwar durchgeführt werden, die Ergebnisse müssen aber von einem geschulten Personal interpretiert werden [PIRLICH et al, 1999].
- Ein zu hohes Körpergewicht führt zu Schwankungen in der Aussagekraft der BIA-Messung. Kyle et al. beschreibt, dass die bioelektrische Impedanzanalyse nur bis zu einem BMI von 34kg/m^2 zuverlässige Ergebnisse liefert [KYLE et al, 2004, part II].

O'Brien et al. hat mehrere Studien verglichen, in denen das TBW mit Hilfe der bioelektrischen Impedanzanalyse und der Dilutionstechnik (Isotopen Dilution) gemessen wurde, und einen Standardfehler vom BIA-gemessenen TBW von 1,5l–2,9l festgestellt. Wenn mehrere Einflussgrößen nicht berücksichtigt werden oder unterschiedliche Personen die BIA-Messungen durchführen, kann das Ergebnis vom TBW im Bereich von +8l bis -7l schwanken [O'BRIEN et al, 2002].

3.5. Vor- und Nachteile der bioelektrischen Impedanzanalyse

Die bioelektrische Impedanzanalyse hat viele Vorteile im Vergleich zu anderen Messmethoden. Sie ist einfach und schnell durchführbar, preisgünstig, mobil, präzise, nichtinvasiv und ungefährlich für den Probanden/ Patienten [PIRLICH

et al, 1999]. Darüber hinaus ermöglicht sie die Berechnung mehrerer Körperkompartimente gleichzeitig [PIRLICH et al, 2000].

Der Vergleich der Ergebnisse mit anderen Methoden (z.B. Hydrodensitometrie, Air-Displacement-Plethysmographie, Dual-Energy-X-ray-Absorptiometrie) ist nur bedingt möglich. Die unterschiedlichen Zielgrößen, Einschluss- und Ausschlusskriterien und Schwerpunkte anderer Studien verhindern den direkten Vergleich [MÜLLER und BOSY-WESTPHAL, 2000].

Die Interpretation der Ergebnisse muss stets von einem geschulten Personal durchgeführt werden. Einzelne BIA-Messung können auf Grund von Adipositas, Diäten kurz vor der Messung etc. zu stark abweichenden Ergebnissen führen. Deswegen ist das Gespräch mit dem Patienten vor der Messung sehr wichtig, um alle Einflussfaktoren abzuklären.

Vorteil für diese Studie im Krankenhaus ist, dass sich die Patienten bereits ausreichend lange in Ruhelage befinden (Durchführung der Messung in der Früh, bevor der Patient – wenn überhaupt möglich – das Bett verlassen hat). In den Betten der Intensivstation ist eine Körperwaage integriert, wodurch nur die Patienten auf der Normalstation mit einer handelsüblichen Körperwaage abwogen werden. Die Patienten sind alle nüchtern, da das Essen erst nach der Messung verteilt wird (in Absprache mit dem Krankenhauspersonal bzw. auch mit den Patienten).

4. Grundlagen der Studie/ Forschungsdesign

Bei dieser Studie liegt das positive Votum der Ethikkommission für die Krankenanstalten der AUVA vor. Die Kommission hat am 21.11.2011 den Antrag einstimmig angenommen und gegen die Durchführung der Studie keine Einwände eingehoben.

4.1. Studiendesign

Bei der Gesamtstudie handelt es sich um eine prospektive nicht-interventionelle Pilotstudie mit einer Kohorte (ohne Referenzgruppe). In erster Linie dient die Studie dazu, neue Hypothesen zu generieren. Es erfolgt keine Randomisierung oder Verblindung. Jeder Patient, der die erwünschten Kriterien erfüllt, wird nach Unterschreiben der Einwilligung in die Studie aufgenommen.

4.2. Probandenanzahl & Ein- und Ausschlusskriterien

Die Probandenanzahl dieser Studie liegt bei 19 Patienten, bestehend aus 4 Frauen und 15 Männern. Die Patienten sind über einen unterschiedlich langen Zeitraum auf der Intensiv- und auf der Normalstation untergebracht. Es gibt keine Unterteilung in ethnische Gruppen.

4.2.1. Fallzahlrechtfertigung

Die Messungen erstrecken sich über 8 Monate. Die Ein- und Ausschlusskriterien ermöglichten keine höhere Probandenzahl innerhalb dieses Zeitraums. Da die Aussagekraft durch eine höhere Probandenzahl gesteigert werden kann, wird die Studie von Frau Verena Hintsteiner, BSc fortgesetzt.

4.2.2. Einschlusskriterien

- Trauma/ Polytrauma vorliegend
- ISS > 16
- Alter > 16 Jahre

4.2.3. Ausschlusskriterien

- Malignom in der Anamnese
- Herzinsuffizienz
- Niereninsuffizienz
- Nichteinwilligung des Patienten bei Geschäftsfähigkeit. Bei nicht-vorhandener Geschäftsfähigkeit kann ein Erziehungsberechtigter oder ein vorab gewählter Sachwalter zur Datenbereitstellung für wissenschaftliche Zwecke die Einwilligung für den Patienten unterzeichnen.

4.2.4. Drop-Out Kriterien

Bei Drop-out Kriterien handelt es sich um jene Kriterien, welche den Patienten während der laufenden Messungen aus der Studie disqualifiziert.

- Fehleinschluss
- Verlegung des Patienten in ein anderes Krankenhaus vor der planmäßigen Entlassung (z.B. wenn der Patient ein Krankenhaus seiner Umgebung bevorzugt).
- Exitus vor der Entlassung
- Nichteinwilligung oder Rückzug der Einwilligung des Patienten nach der Wiedererlangung seiner Geschäftsfähigkeit

4.3. Messfrequenz und Studienablauf

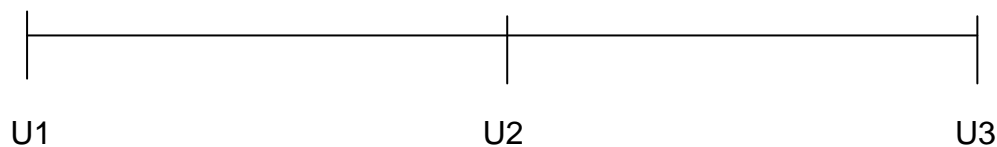
Die BIA-Messung wird mit einem volldigitalen, phasensensitiven 4-Kanal-Impedanzgerät durchgeführt (BIACORPUS RX 4000). Sie erfolgt jeden Montag und Donnerstag (mindestens zweimal pro Woche) zwischen 06:30–07:30, da die Patienten nüchtern sein müssen. Die Messung wird stets segmental (4-Kanal-Messung) durchgeführt, es sei denn, der Patient hat einen Gips, Verletzungen oder Ähnliches, wodurch das Anbringen der Elektroden verhindert wird. In diesem Fall wird nur an der „freien“ Körperhälfte gemessen. Vor der ersten Messung wird mit einem handelsüblichen Maßband die genaue Körpergröße des Patienten in liegender Position ermittelt und für die restliche Studie als kon-

stant betrachtet. Während des gesamten Studienablaufs gibt es drei wichtige Zeitpunkte:

U1 = 1. Messung auf der Intensivstation

U2 = Letzte Messung unmittelbar vor der Entlassung aus der Intensivstation auf die Normalstation (Zeitpunkt der Transferierung)

U3 = letzte Messung unmittelbar vor der Entlassung aus dem Krankenhaus



Die Blut- und Plasmaproben für die Gesamtstudie werden von Fr. OA. Dr. Inge Gerstorfer angeordnet, vom Spitalpersonal allmorgendlich gewonnen und im Zentrallabor ausgewertet. Die Daten werden vom Labor zur Verfügung gestellt. Auf der Intensivstation erfolgt dies routinemäßig, auf der Normalstation nur bei Bedarf bzw. zu Studienzwecken.

Für die Gesamtstudie sind die Blutparameter CRP, Serumalbumin und Gesamteiweiß von Bedeutung, da sie auf den Ernährungszustand hinweisen. Das Serumalbumin ist vor allem für das Aufrechterhalten eines konstanten Plasmavolumens verantwortlich. Die Plasmaproteine transportieren wasserunlösliche Substanzen, Metalle, Hormone und Vitamine und sind wichtig für die Blutgerinnung, Fibrinolyse und Infektionsabwehr [LÖFFLER und PETRIDES, 2006].

In der Akut-Phase eines Traumas treten eine Reihe entzündungstypischer, zellbiologischer Veränderungen auf. Bei dieser Reaktion steigt die Plasmakonzentration mehrerer Proteine an. Für diagnostische Zwecke ist das C-reaktive Protein am ehesten geeignet, da es leicht bestimmt werden kann [LÖFFLER und PETRIDES, 2006].

4.4. Begründung der Methodenwahl

Die bioelektrische Impedanzanalyse gilt allgemein als einfache, schnelle, kostengünstige, nichtinvasive, sichere, schmerzfreie und ungefährliche Messme-

thode der Körperzusammensetzung. Sie kann bei schwer verletzten Patienten regelmäßig ohne Mehraufwand durchgeführt werden und liefert eindeutige und gut interpretierbare Verlaufsdaten. Das BIA-Messgerät ist klein und kompakt, es kann leicht in jedes Krankenzimmer mitgenommen und aufgebaut werden. Des Weiteren bedarf es (bei vorhandenen Vorkenntnissen der Körperkompartimente) nur einer kurzen Einschulungsphase.

4.5. Statistische Auswertung

Die Ergebnisse wurden mit dem Programm SPSS für Windows, mit der Version Statistics 19 ausgewertet und zusätzlich mit Microsoft Excel 2010 graphisch dargestellt. Alle Werte werden als Mittelwerte und Standardabweichung aufgeführt. Gegebenenfalls werden der Streubereich und der Median berechnet. Für die verwendeten statistischen Testverfahren wurde ein Signifikanzniveau von 5% festgelegt. Nach der Überprüfung von Ausreißern wurde die Normalverteilung mittels Kolmogorov-Smirnov durchgeführt. Bei Vergleichen (vor allem der Mittelwerte zu U1, U2 und U3) der Parameter wurde bei Normalverteilung der t-Test angewandt, ansonsten der Mann-Whitney-U-Test. Kann die Hypothese einer Normalverteilung nicht abgelehnt werden, so wird für den Zusammenhang zwischen zwei Parametern ein Korrelationskoeffizient nach Bravais-Pearson berechnet, ansonsten ein Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman.

Für die Beschreibung der Verteilung **metrischer Parameter** (BMI, Phasenwinkel, Wasserbalance, Gesamtkörperwasser, Resistanz, Reaktanz) wurden die Kennwerte Minimum, Maximum, Median, Standardabweichung und Mittelwert verwendet.

Es erfolgt keine Adjustierung des Alphafehlerniveaus, somit sind sämtliche statistische Aussagen als rein deskriptiv zu verstehen.

5. Ergebnisse der Studie und Interpretation der Daten

Die Daten und Ergebnisse der BIA-Messung werden automatisch vom Programm „my line, AENGUS Ernährungskonzepte GmbH“ berechnet und ausgewertet und können unmittelbar zur Interpretation herangezogen werden. Folgende Parameter werden nicht automatisch ermittelt und mussten deswegen berechnet werden:

- ECW in L vom TBW = $\frac{\text{TBW in L} \cdot \text{ECW in \%}}{100}$
- FFM in % = 100 – FM in %
- BCM in % = $\frac{\text{BCM in kg} \cdot 100}{\text{Körpergewicht in kg}}$
- TBW in % = $\frac{\text{TBW in L} \cdot 100}{\text{Körpergewicht in kg}}$

5.1. Gesamtkollektiv und Geschlechterverteilung

In der vorliegenden Studie gibt es ein Gesamtkollektiv von 19 Probanden. 15 Probanden sind männlich und vier Probanden weiblich. Das entspricht einer prozentuellen Verteilung von (gerundet) 78,9% zu 21,1%. Das Alter der Probanden reicht von 20 bis 76 Jahren und liegt im Mittel bei $42,8 \pm 18,0$.

In der folgenden Tabelle sind die Probanden nach Geschlecht und Alter zu den Zeitpunkten U1, U2 und U3 dargestellt.

	gesamt (n=19)	Männer (n=15)	Frauen (n=4)
Alter (Jahre)	$42,8 \pm 18,0$ (20-76)	$41,9 \pm 18,4$ (20-76)	$46 \pm 18,4$ (26-70)

Tabelle 8: Einteilung der Untersuchungsgruppe nach Geschlecht und Alter [MW \pm SD, Minimalwert – Maximalwert].

5.2. Verlauf des BMI

In der folgenden Tabelle wird die Verteilung des BMI vom Gesamtkollektiv und getrennt nach Geschlechtern dargestellt. Aufgrund der starken Streuung ist auch das Gesamtkörpergewicht angegeben.

	gesamt (n=19)	Männer (n=15)	Frauen (n=4)
Gewicht (kg) U1	87,4 ±15,6 (58,5-128,5)	89,4 ±17,1 (58,5-128,5)	80 ±3,1 (76,3-84)
BMI (kg/m²) U1	27,7 ±3,8 (21,2-34,1)	27,1 ±4,0 (21,2-34,1)	30 ±1,6 (28,3-31,6)
Gewicht (kg) U2	79,4 ±13,9 (51,5-115)	80 ±15,6 (51,5-115)	77,2 ±5,3 (69,9-82,0)
BMI (kg/m²) U2	25,3 ±4,1 (19,9-31)	24,3 ±4,0 (19,9-31)	28,9 ±1,7 (26,6-30,3)
Gewicht (kg) U3	72 ±11,1 (50-92)	72,3 ±12,2 (50-92)	70,5 ±6,4 (62,1-76)
BMI (kg/m²) U3	23 ±3,6 (16,3-29,7)	22,1 ±3,4 (16,3-27,8)	26,4 ±2,6 (23,7-29,7)

Tabelle 9: Charakterisierung der Untersuchungsgruppe nach Geschlecht, Gewicht und BMI zu U1, U2 und U3 [MW ±SD, (Minimalwert – Maximalwert)].

Das geringe Gesamtkollektiv von 19 Probanden ermöglicht eine Darstellung des BMI jedes einzelnen Patienten zu U1, U2 und U3 (siehe Abb. 13).

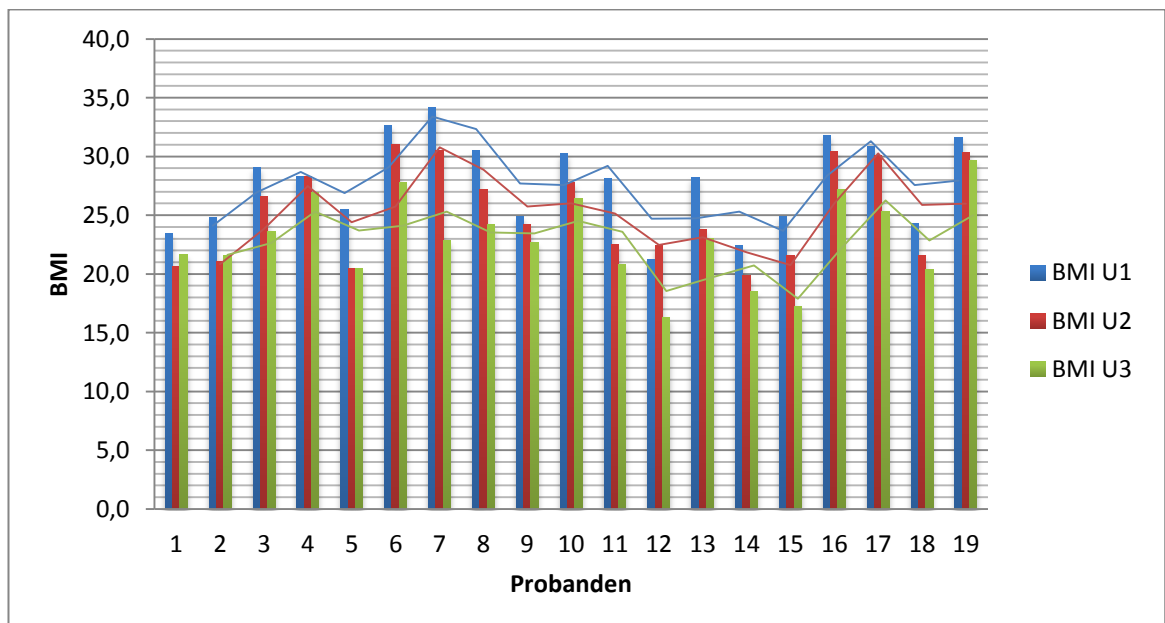


Abbildung 13: Graphische Darstellung von BMI U1, U2 und U3 mit der Trendlinie auf den Mittelwerten

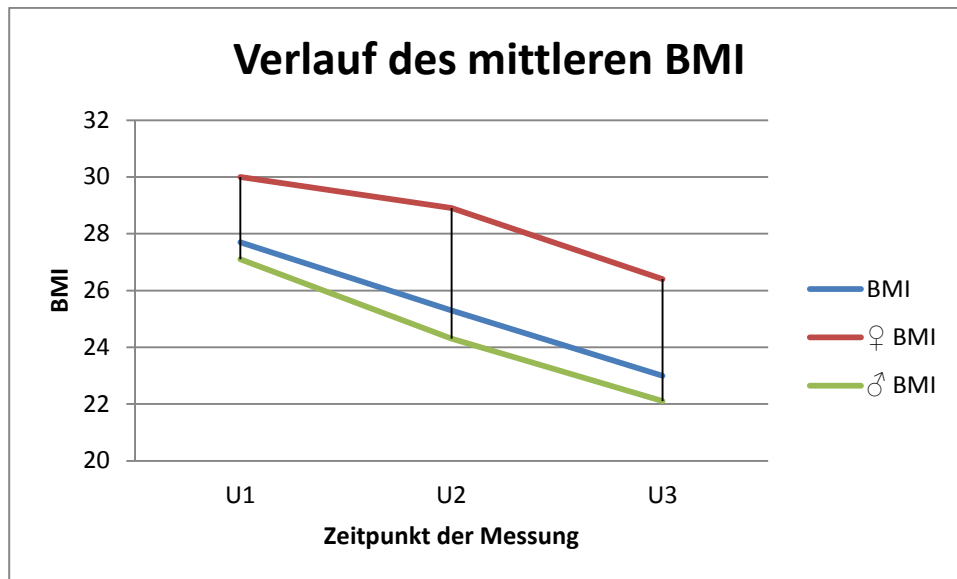


Abbildung 14: Darstellung des mittleren BMI des Gesamtkollektivs und getrennt nach Geschlechtern

Anhand der Grafik (Abb. 14) ist ersichtlich, dass der mittlere BMI des Gesamtkollektivs während des gesamten Krankenhausaufenthalts von $27,7\text{kg/m}^2$ zu U1 auf $25,3\text{kg/m}^2$ zu U2 und weiter auf 23kg/m^2 zu U3 gesunken ist. Die Abnahme des BMI ist zwischen U1/U2, U1/U3 und U2/U3 signifikant ($p=0,000$).

Bei gesunden Probanden wäre zum Zeitpunkt U1 und U2 der DurchschnittsbMI im präadipösen Bereich und zum Zeitpunkt U3 im normalgewichtigen Bereich. Der durchschnittliche BMI sinkt von U1 zu U3 um 17%. Des Weiteren ist gut ersichtlich, dass sich die Frauen zum Zeitpunkt der Aufnahme, Transferierung und Entlassung stets in einem höheren BMI-Bereich befanden, als die Männer. Hier muss jedoch berücksichtigt werden, dass in der Studie nur vier Frauen beteiligt sind.

Da es sich bei dem Kollektiv um nicht gesunde Probanden, sondern um Polytraumapatienten handelt und das Gewicht durch die hohe Volumenbelastung mit kristalloiden und kolloidalen Lösungen in unterschiedlicher Höhe beeinträchtigt wird, ist die Beurteilung des BMI nur von geringer Bedeutung. Des Weiteren führt ein zu hohes Körpergewicht zu Schwankungen in der Aussagekraft der BIA-Messung und zu unzuverlässigen Ergebnissen [KYLE et al, 2004, part II].

In Tabelle 10 ist die Einteilung des BMI dargestellt. Zum Zeitpunkt U1 und U2 befanden sich die Patienten auf der Intensivstation, wodurch der BMI stark verfälscht sein kann. Zum Zeitpunkt U3 verließen drei Probanden das Spital mit einem BMI < 18,5 kg/m² (untergewichtig) und sechs Probanden mit einem BMI zwischen 25-29,99 kg/m² (präadipös). Die restlichen 10 Probanden hatten Normalgewicht.

	BMI zu U1		BMI zu U2		BMI zu U3	
	♂	♀	♂	♀	♂	♀
Untergewicht					3/20%	
Normalgewicht	7/46,6%		10		9/60%	1/25%
Präadipös	3/20%	2/50%	2/13,3%	2/50%	3/20%	3/75%
Adipositas I	5/33,3%	2/50%	3/20%	2/50%		
Adipositas II						
Adipositas III						

Tabelle 10: BMI-Klassifizierung nach Geschlecht (Anzahl der Probanden / Prozentsatz)

5.3. Verlauf des Total body water [%]

Bei einem gesunden Kollektiv liegt das TBW [%] bei Frauen bei ~50-60% und bei Männern bei ~55-65% des Körpergewichts [STOBÄUS et al, 2010]. Es ist aber zu berücksichtigen, dass das TBW [%] nicht nur geschlechtsspezifisch zu betrachten und interpretieren ist, sondern auch vom Gesamtkörpergewicht abhängt (übergewichtige Personen haben ein geringeres TBW als normalgewichtige).

	TBW [%] zu U1	TBW [%] zu U2	TBW [%] zu U3
Mittelwert	61,9	55,1	57,7
Standardabweichung	10,4	7,2	7,4
Minimum	39,3	39,4	40,8
Maximum	79,6	66,0	68,1
Median	62,4	56,8	57,6

Tabelle 11: TBW in % vom Gesamtkollektiv (n=19) zu U1, U2 und U3

	TBW [%] zu U1		TBW [%] zu U2		TBW [%] zu U3	
	♂	♀	♂	♀	♂	♀
Mittelwert	64,7	51,6	57,7	45,6	60,4	47,6
Standardabweichung	8,1	13,1	5,1	5,7	5,2	5,2
Minimum	48,9	39,2	49,5	39,4	50,0	40,8
Maximum	79,6	69,9	66,0	52,7	68,1	53,5
Median	64,8	48,6	58,2	45,2	59,6	48,1

Tabelle 12: TBW [%] getrennt nach Geschlecht (Männer ♂ n=15, Frauen ♀ n=4)

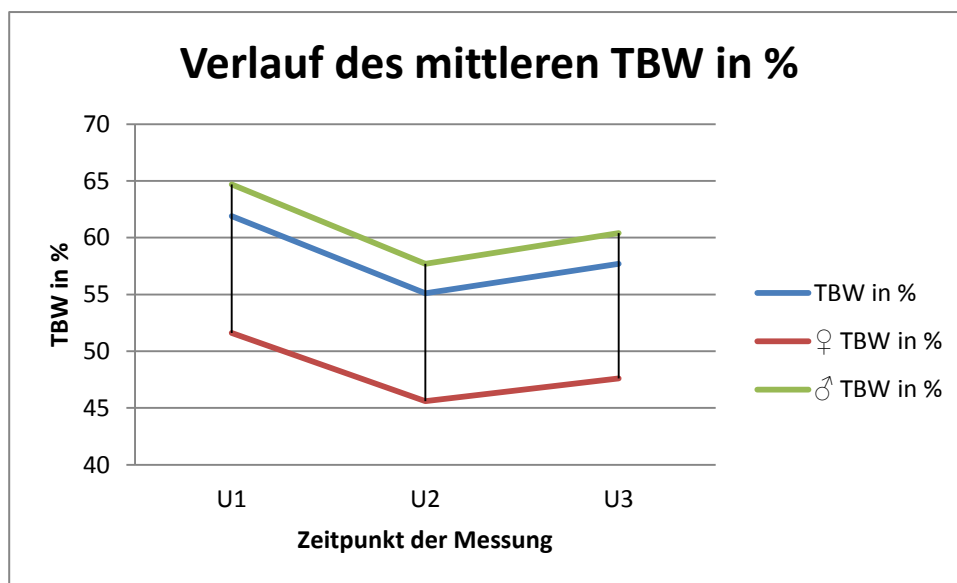


Abbildung 15: Verlauf des mittleren TBW [%] beim Gesamtkollektiv und getrennt nach Geschlechtern

Die Ergebnisse (siehe Abb. 15 und Tab. 11) zeigen, dass das mittlere TBW [%] im Gesamtkollektiv zu U1 mit $61,9\% \pm 10,4\%$ am höchsten und zu U2 mit $55,1\% \pm 7,4\%$ am niedrigsten war. Das TBW [%] im Gesamtkollektiv nahm auf der Intensivstation (U1/U2, $p=0,01$) signifikant ab, und auf der Normalstation (U2/U3, $p=0,07$) signifikant zu. Über den gesamten Krankenhausaufenthalt ist trotz allem eine signifikante Abnahme des TBW [%] zu erkennen (U1/U3, $p=0,09$). Des Weiteren steht das TBW [%] zu den Zeitpunkten U1/U2 ($r=0,659$, $p<0,05$), U2/U3 ($r=0,875$, $p<0,05$) und U1/U3 ($r=0,800$, $p<0,05$) in einem stark positiven Zusammenhang zueinander.

Das TBW [%] verlief im Gesamtkollektiv sowie bei Frauen und Männern getrennt betrachtet parallel zueinander (siehe Abb. 15). Dass Männer im Durch-

schnitt ein höheres TBW aufwiesen, als Frauen, ist auch in dieser Studie ersichtlich. Der Unterschied zwischen den Ergebnissen der Frauen und der Männer war jedoch weder zu U1 ($p=0,582$), U2 ($p=0,087$) noch zu U3 ($p=0,087$) signifikant.

Zum Zeitpunkt U1 befanden sich die Polytraumapatienten auf der Intensivstation unmittelbar nach einer Operation und teilweise auch noch vor vielen weiteren Operationen. Das erhöhte TBW [%] lässt sich durch die hohe Volumenbelastung mit kristalloiden und kolloidalen Lösungen erklären. Sie dienen der Aufrechterhaltung des Kreislaufs und der Stabilisierung des Schockzustandes. Im Laufe der Behandlung auf der Intensivstation sank bzw. normalisierte sich das TBW [%] wieder. Bei den Frauen war das TBW [%] im Durchschnitt mit 45,6% zu U2 unterhalb der Norm von 50-60%, mit 47,6% zur Entlassung näherten sich die Werte wieder dem Normalbereich. Bei den Männern sank das TBW [%] im Durchschnitt zu U2 nicht so stark (57,7% zu U2), besserte sich aber ebenfalls zum Zeitpunkt der Entlassung (60,4% zu U3) und befand sich im Normalbereich von 55-65%.

Sowohl bei Frauen, als auch bei Männern befand sich das TBW [%] bei der Entlassung im Referenzbereich eines gesunden Erwachsenen.

5.4. Verlauf des extrazellulären Wasser [%]

Das ECW [%] beträgt bei einem gesunden Erwachsenen etwa 33% des TBW bzw. etwa 40% des Gesamtkörpergewichts. Ein Anstieg des ECW ist ein Hinweis auf Ödeme und/oder Unterernährung [BIESALSKI, 2010].

In Abbildung 16 ist deutlich erkennbar, dass das ECW [%] vom TBW vom Zeitpunkt U1 bis zu U3 anstieg. Das sind Hinweise auf Wasseransammlungen im Gewebe und/oder einer Unterernährung. Bereits zum Zeitpunkt U1 lag das mittlere ECW [%] vom TBW bei 47,8% und damit deutlich über dem Referenzwert von 33%.

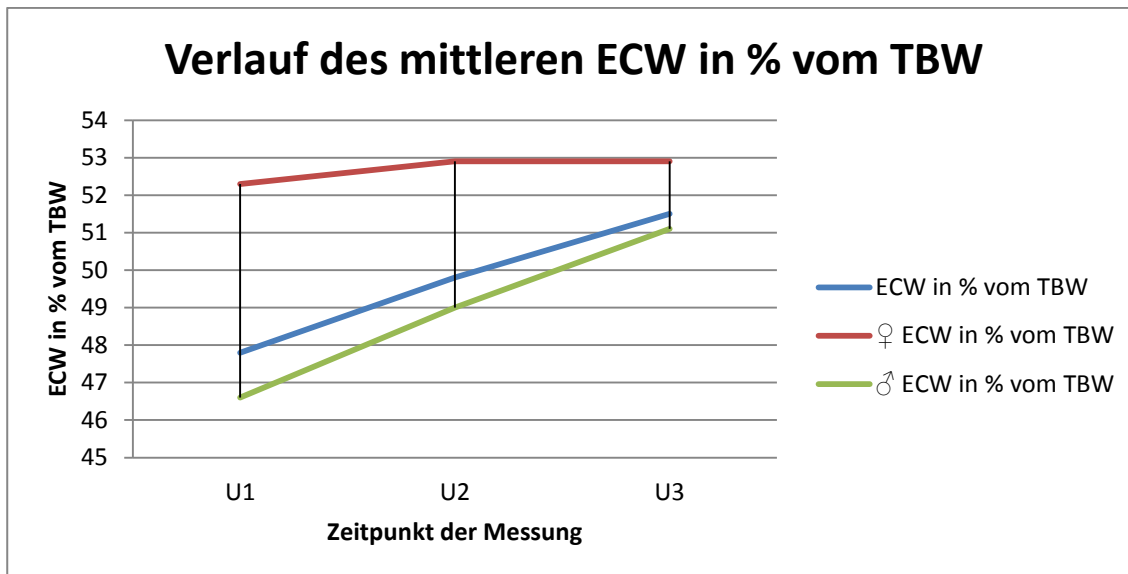


Abbildung 16: Verlauf des mittleren ECW [%] beim Gesamtkollektiv und getrennt nach Geschlechtern

	ECW [%] zu U1	ECW [%] zu U2	ECW [%] zu U3
Mittelwert	47,8	49,8	51,5
Standardabweichung	6,6	7,3	6,2
Minimum	35,2	40,1	42,5
Maximum	63,7	66,3	62,9
Median	47	47,6	49,5

Tabelle 13: ECW [%] vom TBW vom Gesamtkollektiv zu U1, U2 und U3

	ECW [%] zu U1		ECW [%] zu U2		ECW [%] zu U3	
	♂	♀	♂	♀	♂	♀
Mittelwert	46,6	52,3	49,0	52,9	51,1	52,9
Standardabweichung	5,0	10,3	6,5	10,1	6,5	5,4
Minimum	35,2	43	40,1	44,2	42,5	47,4
Maximum	56	63,7	61,7	66,3	62,9	59,8
Median	47	51,2	47,6	50,6	49	52,1

Tabelle 14: ECW [%] vom TBW getrennt nach Geschlecht (Männer ♂ n=15, Frauen ♀ n=4)

Es war kein Zusammenhang im ECW [%] des Gesamtkollektivs auf der Intensivstation (U1/U2, $p=0,229$) und auf der Normalstation (U2/U3, $p=0,071$) feststellbar. Auf den gesamten Krankenhausaufenthalt betrachtet von U1/U3 ($p=0,027$) war der Unterschied jedoch signifikant. Das bedeutet, dass im Ge-

samtkollektiv im Mittel das ECW [%] im Krankenhausverlauf kontinuierlich anstieg. Es bestand zu den Zeitpunkten U1/U2 ($r=0,480$, $p<0,05$) und U1/U3 ($r=0,456$, $p=0,05$) ein schwacher Zusammenhang. Der Unterschied zwischen den Geschlechtern ist zu allen drei Zeitpunkten nicht signifikant ($p>0,05$).

Das Ausmaß der Verletzung und die daraus resultierende Flüssigkeitsverabreichung und Beatmungsdauer auf der Intensivstation bewirken einen Anstieg des ECW. Die weitere Zunahme auf der Normalstation kann ebenfalls durch den Bewegungsmangel erklärt werden. Obwohl die Patienten teilweise wieder im Stande sind aufzustehen und sich frei zu bewegen, erfolgt dies nur sehr selten. Nach dem Gespräch mit einigen Patienten sind diese aufgrund der noch nicht ausgeheilten Verletzungen nicht imstande sich entsprechend zu bewegen, um den Muskelaufbau zu stimulieren.

Ein weiterer Grund für das hohe mittlere ECW zu U3 ist die (falsche) Ernährung (siehe Kapitel 5.13.). Die Zunahme des ECW [%] kann auch durch die Abnahme der Konzentration der Albumine entstehen, und die daraus resultierende Ödembildung.

5.5. Verlauf der Wasserbalance

Die Wasserbalance beschreibt das Verhältnis zwischen ICW und ECW bzw. stellt die Perzentilen des Verhältnisses von ECW [%] zu BCM dar. Wenn die Werte im Bereich des Medians (0) liegen, sind sie unauffällig. Steigt der Wert über +100 weist das auf einen hohen Anteil von ECW hin, ein Wert unter -100 auf eine relativ trockene ECM.

Ein weiterer Beweis für einen erhöhten Anteil von ECW bei Polytraumapatienten ist die mittlere Wasserbalance des Gesamtkollektivs (siehe Abb. 17). Die Werte befanden sich zu U1, U2 und U3 stets oberhalb der 95% Perzentile (über +100). Das ist ein Hinweis auf einen erhöhten Anteil von ECW (wie bereits im Kapitel 5.4. beschrieben).

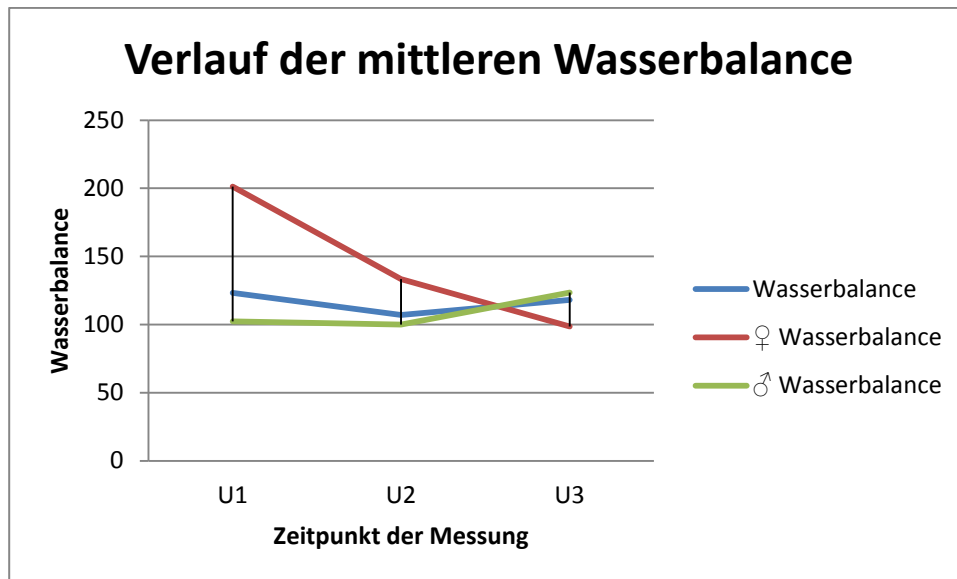


Abbildung 17: Verlauf der mittleren Wasserbalance beim Gesamtkollektiv und getrennt nach Geschlechtern

	WB zu U1	WB zu U2	WB zu U3
Mittelwert	123	107	118
Standardabweichung	155	143	117
Minimum	-62	-46	-10
Maximum	512	437	391
Median	94	61	81

Tabelle 15: Wasserbalance vom Gesamtkollektiv zu U1, U2 und U3

	WB zu U1		WB zu U2		WB zu U3	
	♂	♀	♂	♀	♂	♀
Mittelwert	102	201	100	133	123	99
Standardabweichung	114	272	128	214	128	65
Minimum	-62	-39	-46	-19	-10	35
Maximum	352	512	360	437	391	181
Median	94	166	61	58	81	89

Tabelle 16: Wasserbalance getrennt nach Geschlecht (Männer ♂ n=15, Frauen ♀ n=4)

Beim Mittelwertvergleich der Wasserbalance vom Gesamtkollektiv war der Unterschied zwischen den Zeitpunkten U1/U2 ($p=0,684$), U1/U3 ($p=0,893$) und U2/U3 ($p=0,594$) nicht signifikant. Das bedeutet, dass sich die Wasserbalance

des Gesamtkollektivs während des gesamten Krankenhausaufenthalts nicht aussagekräftig verändert hat, sich aber stets über der 95% Perzentile befand.

Bei den Frauen befand sich die mittlere Wasserbalance mit einem Wert von 201 zum Zeitpunkt U1 am Höchsten. Zum Zeitpunkt U2 sank sie auf 133 und zu U3 weiter auf 99. Diese Werte sind sehr kritisch zu beurteilen, da eine (von vier) Patientinnen während des gesamten Krankenhausaufenthaltes eine sehr hohe Wasserbalance aufwies ($MW=306\pm197$, $U1=512$) und dadurch den Mittelwert verzerrt (es handelt sich hierbei aber nicht um einen Ausreißer). Eine weitere Patientin hatte zu U1 eine verhältnismäßig niedrige Wasserbalance ($U1=-39$), wodurch die Standardabweichung (271) dementsprechend hoch war. Eine weitere Beobachtung der Werte nach der Entlassung wäre interessant, um zu sehen, ob sich die Ergebnisse weiter in Richtung des Medians bewegen.

Bei den Männern lag die mittlere Wasserbalance zum Zeitpunkt U1 (102) und U2 (100) knapp über der 95% Perzentile. Entgegengesetzt zu den Frauen stieg die Wasserbalance zu U3 auf 123. Trotz allem war der Unterschied der Ergebnisse zwischen Frauen und Männern zu U1, U2 und U3 nicht signifikant ($p>0,05$).

Der Anstieg der Wasserbalance bei den Männern kann einerseits durch eine Verschlechterung des Hydrationszustands erklärt werden, auf der anderen Seite durch die unterschiedlichen Messbedingungen. Auf der Intensivstation werden die Patienten mit der Bettenwaage gewogen und haben meistens einen Harnkatheter, der die Blase entleert. Auf der Normalstation hingegen, wird das Gewicht durch eine Körperwaage bestimmt und eine nicht selbstständig vor der Messung entleerte Blase kann das Ergebnis negativ beeinflussen.

5.6. Verlauf der BCM und des ECM/BCM-Indexes

Der Verlauf der mittleren BCM sinkt vom Zeitpunkt U1 zum Zeitpunkt U3 um 8%. Um einen echten BCM-Verlust handelt es sich nur dann, wenn auch der Phasenwinkel und die Reaktanz sinken. Der Phasenwinkel sank im Gesamtkollektiv, die Reaktanz aber nicht. Deswegen ist nicht von einer tatsächlichen BCM-Abnahme auszugehen.

Ein weiterer wichtiger Parameter zur Beurteilung des Ernährungs- und Trainingszustands ist der ECM/BCM-Index. Bei gesunden Menschen muss der Index stets kleiner als 1 sein. In Abbildung 18 ist sichtbar, dass beim gesamten Kollektiv der $\text{Index} \geq 1$ war.

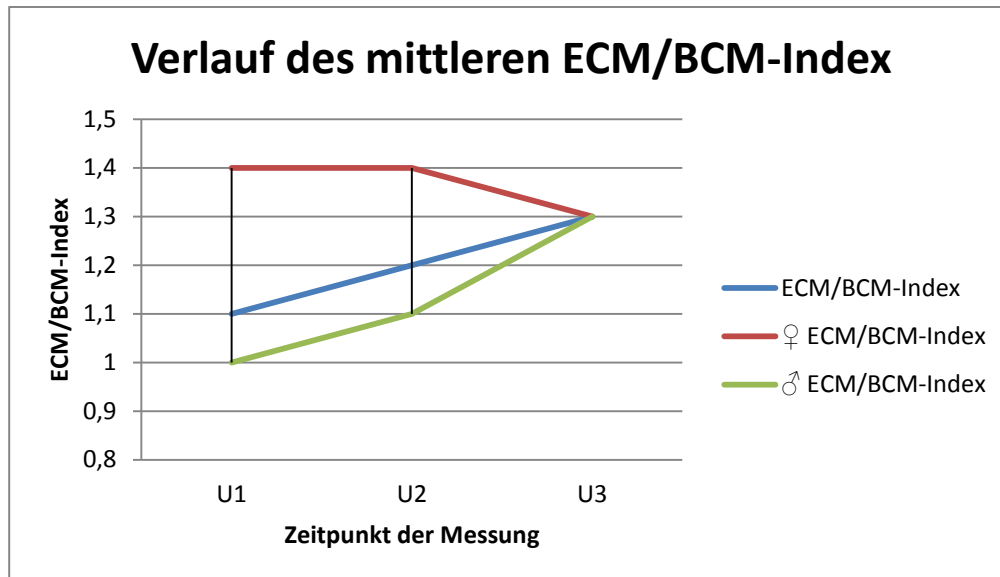


Abbildung 18: Verlauf des mittleren ECM/BCM-Index beim Gesamtkollektiv und getrennt nach Geschlechtern

Bei der Betrachtung des Mittelwerts vom Gesamtkollektiv von ECM/BCM-Index auf der Intensivstation (U1/U2, $p=0,133$) und auf der Normalstation (U2/U3, $p=0,232$) ist kein signifikanter Anstieg erkennbar. Über den gesamten Krankenhausaufenthalt (U1/U3), war der Anstieg jedoch signifikant ($p=0,037$). Das bedeutet, dass sich der ECM/BCM-Index sowohl auf der Intensiv-, als auch auf der Normalstation kontinuierlich verschlechterte, bis hin zur signifikanten Verschlechterung bei der Entlassung aus dem Krankenhaus.

Der mittlere Index der Frauen sank im Laufe des Spitalsaufenthalts von $1,4 \pm 0,6$ zu U1 auf $1,3 \pm 0,3$ zu U3. Die Frauen befanden sich schon zum Zeitpunkt des Unfalls in einem sehr schlechten Ernährungszustand und hatten teilweise Wassereinlagerungen. Diese Ergebnisse gehen mit jenen der Wasserbalance einher, welche ebenfalls vom Zeitpunkt U1 zu U3 abnahm.

Der mittlere Index der Männer verhielt sich konträr. Er stieg von $1 \pm 0,2$ zu U1 auf $1,1 \pm 0,4$ zu U2 auf $1,3 \pm 0,4$ zu U3. Der Index der Männer verschlechterte sich im Laufe des Spitalsaufenthalts von einem Zustand mit ausreichender Grundversorgung in einen Zustand, der bereits auf einen schlechten Ernährungszustand und eine Mangelernährung hinweist. Auch diese Ergebnisse stimmen mit jenen der Wasserbalance überein, welche sich zum Zeitpunkt der Entlassung verschlechterte.

Da insgesamt die Schwankungsbreite der Ergebnisse gering war, sind auch bei dem ECM/BCM-Index die Unterschiede zwischen den Geschlechtern nicht signifikant ($p > 0,05$).

5.7. Verlauf des Phasenwinkels

Der Phasenwinkel ist ein sehr wichtiger Parameter zur Interpretation des Ernährungs- und Gesundheitszustandes. Studien ergaben, dass der Phasenwinkel bei Frauen signifikant ($P < 0,001$) niedriger ist, als bei Männern [BARBOSA-SILVA et al, 2005]. Bei dem Studienkollektiv war aber kein signifikanter Unterschied zwischen den Geschlechtern vorhanden.

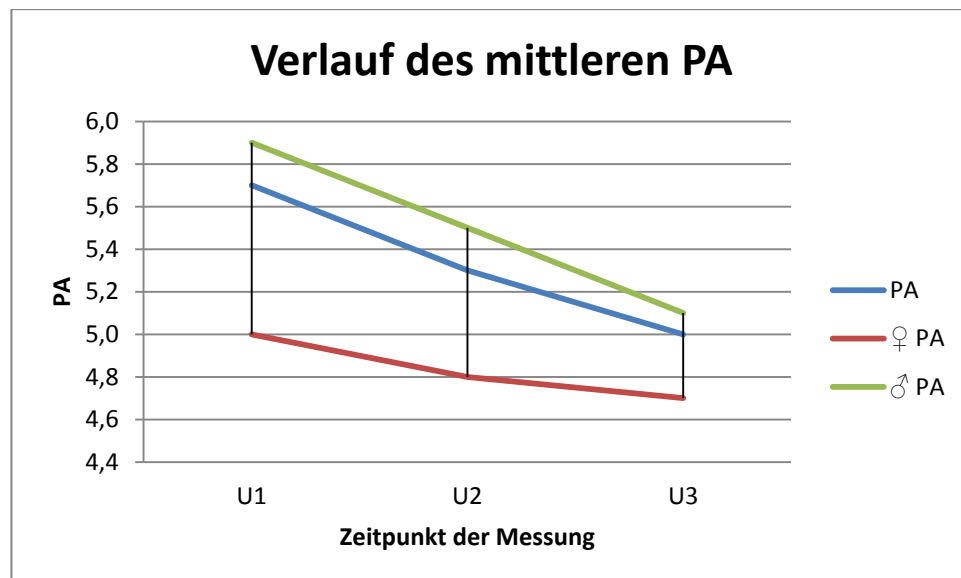


Abbildung 19: Verlauf des mittleren Phasenwinkels beim Gesamtkollektiv und getrennt nach Geschlechtern

	°PA zu U1	°PA zu U2	°PA zu U3
Mittelwert	5,7	5,3	5,0
Standardabweichung	1,3	1,3	1,0
Minimum	3,1	2,8	3,2
Maximum	8,8	7,4	6,8
Median	5,7	5,6	5,2

Tabelle 17: PA vom Gesamtkollektiv zu U1, U2 und U3

	°PA zu U1		°PA zu U2		°PA zu U3	
	♂	♀	♂	♀	♂	♀
Mittelwert	5,9	5,0	5,5	4,8	5,1	4,7
Standardabweichung	1,1	1,8	1,2	1,6	1,1	0,9
Minimum	4,1	3,1	3,4	2,8	3,2	3,6
Maximum	8,8	6,6	7,4	6,3	6,8	5,6
Median	5,7	5,1	5,6	5,1	5,3	4,8

Tabelle 18: PA getrennt nach Geschlecht (Männer ♂ n=15, Frauen ♀ n=4)

Der Mittelwertvergleich des PA im Gesamtkollektiv ergab, dass es auf der Intensivstation zu keiner signifikanten Verschlechterung kam (U1/U2, $p=0,278$). Stattdessen verschlechterte sich der PA auf der Normalstation (U2/U3, $p=0,037$) signifikant, obwohl er sich eigentlich in diesem Stadion wieder verbessern sollte. Insgesamt kam es während des gesamten Krankenhausaufenthalts zu einer signifikanten Verschlechterung (U1/U3, $p=0,026$) des PA.

Der PA zu U1 von $5,0^\circ \pm 1,8^\circ$ bei Frauen und $5,9^\circ \pm 1,1^\circ$ bei Männern wies auf Menschen mit einer einseitigen aber ausreichenden Ernährung und geringer sportlicher Aktivität hin. Die Abnahme des Phasenwinkels veränderte sich nicht unmittelbar nach dem Unfall, sondern langsam im Verlauf des Spitalsaufenthalts.

Je kleiner der Phasenwinkel ist, desto größer ist die Wahrscheinlichkeit, dass der Patient Wassereinlagerungen, eine niedrige BCM, einen schlechten Trainingszustand, eine niedrige Zellhydratation und einen schlechten Ernährungszustand hat. Da sich die BCM beim Gesamtkollektiv nur geringfügig veränderte, ist der niedrige Phasenwinkel erneut ein Hinweis auf einen erhöhten Anteil von

ECW und einen schlechten Ernährungszustand. Vor allem bei diesem Parameter wäre eine weitere Beobachtung nach der Entlassung aus dem Krankenhaus empfehlenswert und hochinteressant.

Studien haben bewiesen, dass der PA in einem signifikanten Zusammenhang mit der Mortalität von Patienten steht [STOBÄUS et al, 2010]. Dieser Zusammenhang wurde in dieser Studie nicht belegt, da ein frühzeitiger Exitus während des Krankenhausaufenthaltes ein Drop Out Kriterium darstellte.

5.8. Verlauf der Reaktanz und Resistanz

Das Verhältnis von Reaktanz und Resistanz wird durch den Phasenwinkel ausgedrückt. Die Resistanz ist flüssigkeitsabhängig, wohingegen die Reaktanz vom Zustand der Körperzellmasse bestimmt wird. Der Normbereich bei gesunden Menschen liegt bei einer Resistanz zwischen 450-650 Ohm und bei einer Reaktanz von 45-65 Ohm. Wenn die Reaktanz sinkt, ist das ein Hinweis auf eine Abnahme der Muskelmasse und ein zunehmendes Alter, wohingegen eine hohe Reaktanz einen hohen BMI widerspiegelt. Durch das zunehmende Alter sinkt aber auch der Anteil des Körperwassers, wodurch die Resistanz ansteigt.

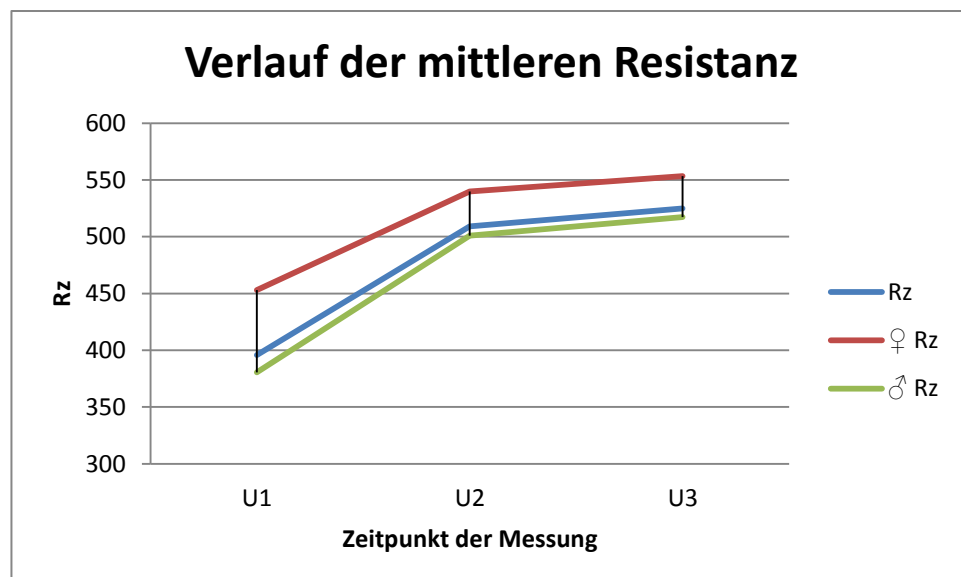


Abbildung 20: Verlauf der mittleren Resistanz beim Gesamtkollektiv und getrennt nach Geschlechtern

	Rz U1	Xc U1	Rz U2	Xc U2	Rz U3	Xc U3
Mittelwert	395,7	39,7	509,1	47,3	524,9	45,2
Standardabweichung	83,9	12,5	84,6	12,6	77,9	9,1
Minimum	284	19	367	20	418	26
Maximum	603	67	665	66	714	62
Median	378	39	476	47	516	45

Tabelle 19: Rz und Xc im Gesamtkollektiv zu den Zeitpunkten U1, U2 und U3

	Rz zu U1		Rz zu U2		Rz zu U3	
	♂	♀	♂	♀	♂	♀
Mittelwert	380,4	453,0	500,9	539,8	517,3	553,5
Standardabweichung	65,2	129,8	82,4	98,0	84,5	41,3
Minimum	284	286	367	402	418	521
Maximum	487	603	665	631	714	611
Median	375	461	474	563	512	541

Tabelle 20: Rz getrennt nach Geschlecht (Männer ♂ n=15, Frauen ♀ n=4)

Stobäus et al. beschrieb, dass die Abnahme des TBW mit einem Anstieg des Resistanzwertes einhergeht [STOBÄUS et al, 2010]. Das kann durch diese Studie bestätigt werden. Auf der Intensivstation (U1/U2, $p=0,000$) und während des gesamten Krankenhausaufenthalts (U1/U3, $p=0,000$) kam es zu einer signifikanten Erhöhung der mittleren Resistanz. Auf der Normalstation (U2/U3, $p=0,248$) konnte keine signifikante Veränderung beschrieben werden. Zu diesem Zeitpunkt befanden sich die mittleren Werte aber bereits im Referenzbereich (450-650 Ohm).

Abbildung 20 zeigt ebenfalls, dass die mittlere Resistanz bei den Frauen von 453,0 Ohm zu U1 auf 553,5 Ohm zu U3 (+22,2%) stieg, und somit zu allen Zeitpunkten im Normbereich von 450-650 Ohm befand. Bei den Männern stieg die Resistanz von 380,4 Ohm zu U1 auf 517,3 Ohm zu U3 (+36%). Demnach befanden sich zum Zeitpunkt U1 die Resistanz noch unterhalb des Referenzwertes von 450 Ohm, sie stieg aber im Verlauf des Krankenhausaufenthaltes und befand sich zu U3 ebenfalls im Normbereich.

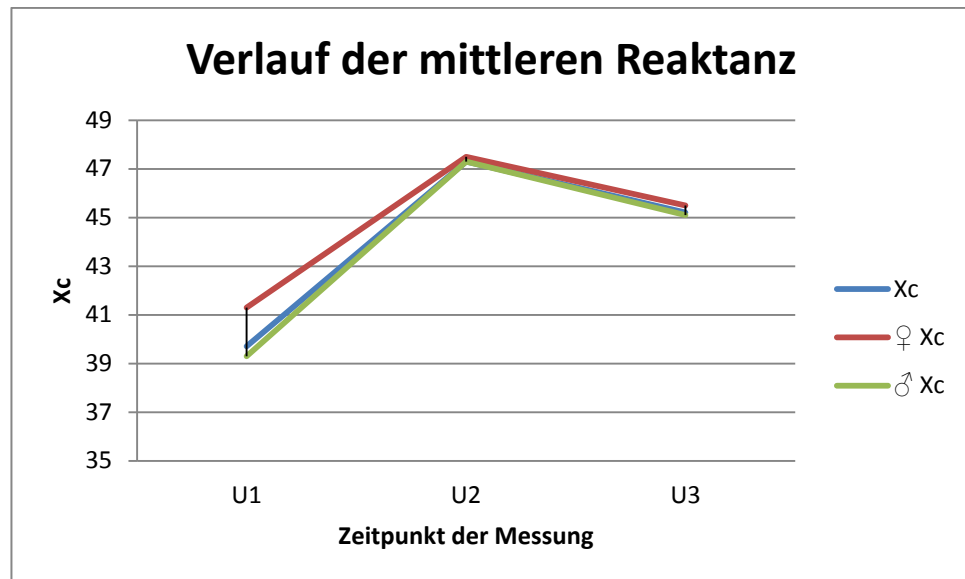


Abbildung 21: Verlauf der mittleren Reaktanz beim Gesamtkollektiv und getrennt nach Geschlechtern

	Xc zu U1		Xc zu U2		Xc zu U3	
	♂	♀	♂	♀	♂	♀
Mittelwert	39,3	41,3	47,3	47,5	45,1	45,5
Standardabweichung	9,3	23,0	10,3	21,4	9,4	9,5
Minimum	25	19	28	20	26	35
Maximum	56	67	66	65	62	55
Median	39	40	47	53	45	46

Tabelle 21: Xc getrennt nach Geschlecht (Männer ♂ n=15, Frauen ♀ n=4)

Bei der mittleren Reaktanz vom Gesamtkollektiv zeigt sich ein ähnliches Muster, wie bei der Resistanz. Der Anstieg der Reaktanz von den Zeitpunkten U1/U2 ($p=0,018$) und U1/U3 ($p=0,045$) war signifikant. Der Abfall auf der Normalstation (U2/U3, $p=0,311$) war nicht signifikant. Im Mittel war die Reaktanz mit 40 Ohm zu U1 leicht unterhalb der Norm von 45-65 Ohm. Die Werte verbesserten sich aber im Lauf der Intensivstation signifikant.

Die mittlere Reaktanz war sowohl bei den Frauen als auch bei den Männern zum Zeitpunkt U2 am Höchsten. Zu den Zeitpunkten U1 und U3 lagen die Werte an der unteren Grenze zu den Normwerten von 45-65 Ohm und sind deswegen nicht als kritisch zu betrachten. Ein niedriger Reaktanzwert würde auf eine verminderte Körperzellmasse hinweisen.

5.9. Auswirkungen der Traumascores TRISS und SAPS III auf die Veränderung der Körperzusammensetzung

Jeder Studienteilnehmer hat ein Polytrauma und einen ISS-Score größer als 16. Die Anzahl der Tage, die sie auf der Intensiv- und auf der Normalstation verbrachten, unterschied sich aber sehr stark.

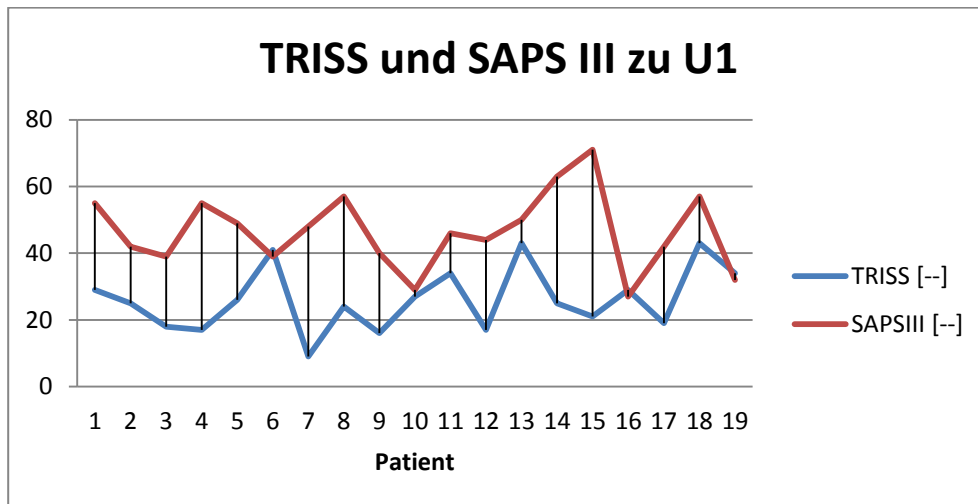


Abbildung 22: Verlauf der Traumascores TRISS und SAPS III zu U1

	TRISS	SAPS III
Mittelwert	26,2	46,6
Standardabweichung	9,6	11,4
Minimum	9	27
Maximum	43	71
Median	25	46

Tabelle 22: TRISS und SAPS III im Gesamtkollektiv

Mit Hilfe des Korrelationskoeffizienten wird der Zusammenhang des Traumascores TRISS und SAPS III berechnet, um zu beurteilen, ob der Schweregrad der Erkrankung mit der Verweildauer im Krankenhaus und den einzelnen Parametern in Zusammenhang steht.

Bei der Ermittlung des Zusammenhangs zwischen dem TBW [%] und dem TRISS-Score konnte keine Korrelation gefunden werden. Dafür stand der SAPS

III- Score mit dem TBW [%] zu U1 in einem signifikanten positiven Zusammenhang ($p=0,027$, $r=0,507$). Daraus ergab sich, dass ein höherer SAPS III- Score mit einem höheren TBW [%] einherging. Bei dem Phasenwinkel und der Wasserbalance konnte kein Zusammenhang zum SAPS III- Score beobachtet werden.

Die folgenden Abbildungen (Abb. 23 und Abb. 24) zeigen den nicht vorhandenen bzw. den vorhandenen Zusammenhang zwischen dem TBW [%] und dem TRISS- bzw. SAPS III- Score.

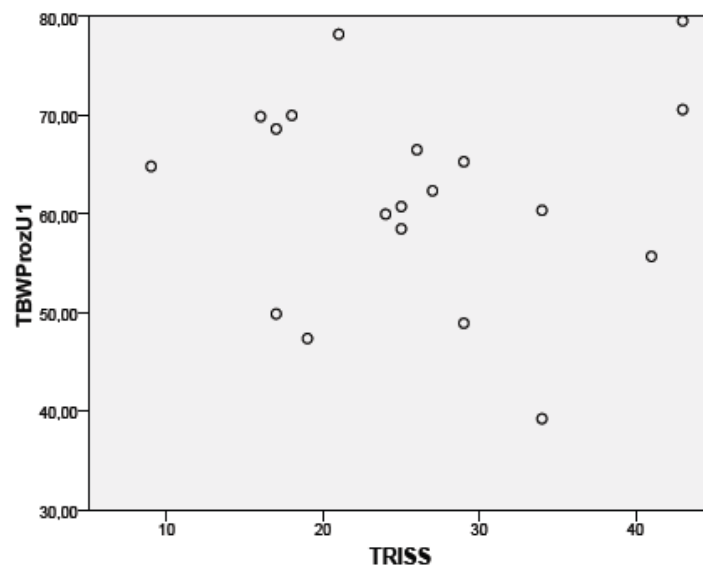


Abbildung 23: Korrelation von TBW [%] zu U1 mit TRISS (kein Zusammenhang)

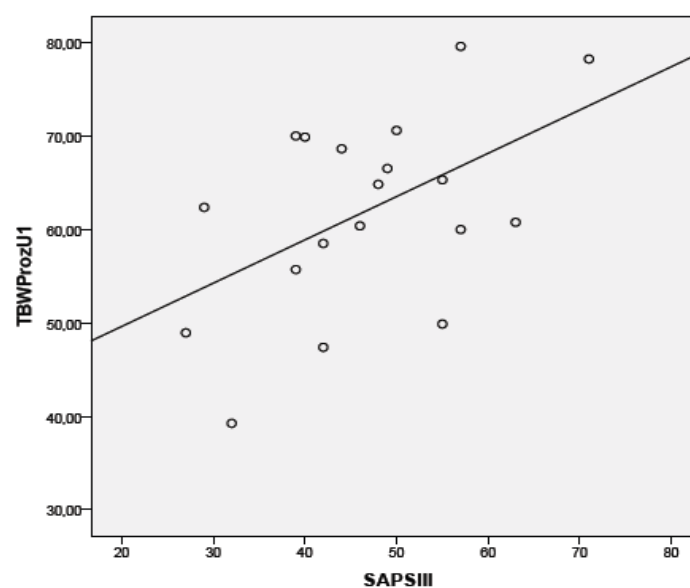


Abbildung 24: Korrelation von TBW [%] zu U1 mit SAPS III ($r=0,507$)

Bei einem gesunden Menschen verteilt sich das TBW im gesamten Körper in ICW und ECW [BIESALSKI, 2010]. Zum Zeitpunkt U1 befanden sich die Patienten in einer außergewöhnlichen Situation. Die körpereigenen Regulationsmechanismen können die Hyperhydration auf Grund von Traumen, Überinfusion, ärztlichen Maßnahmen, oder Überdruckbeatmung nicht ausgleichen. Dadurch lässt sich erklären, weshalb eine Korrelation zwischen dem Traumascore und dem TBW [%] besteht, aber nicht mit dem ECW.

Warum das TBW zu U1 nur mit dem SAPS III (Abb. 24) und nicht mit dem TRISS (Abb. 23) korreliert, bedarf noch weiterer Untersuchungen.

5.10. Auswirkungen der Traumascores TRISS und SAPS III auf die Aufenthaltsdauer im Krankenhaus

Die Verletzungsart und der Schweregrad der Erkrankung sind ausschlaggebend für die Behandlung des Patienten. Umso schwerer ein Patient verletzt ist, umso intensiver muss er betreut werden.

	Gesamt-aufenthalt [d]	Intensiv-station [d]	Normal-station [d]
Mittelwert	49,7	17,8	31,9
Standardabweichung	26,8	16,6	27,4
Minimum	17	2	4
Maximum	116	65	91
Median	44	12	25

Tabelle 23: Mittlere Aufenthaltsdauer im Krankenhaus

Korrelationen				
		Gesamt-aufenthalt	Intensiv-station	Normal-station
TRISS	Korrelation	-,234	-,190	-,344
	Signifikanz	,334	,435	,149
SAPS III	Korrelation	,404	,226	,259
	Signifikanz	,086	,652	,285
	N	19	19	19

Tabelle 24: Korrelationen zwischen TRISS, SAPS III und der Aufenthaltsdauer im Krankenhaus

Obwohl mit Hilfe von TRISS und SAPS III die Einschätzung der Erkrankungsschwere und die theoretische Überlebenswahrscheinlichkeit berechnet werden, bestand in diesem Studienkollektiv kein signifikanter Zusammenhang zwischen der Gesamtaufenthaltsdauer und der Tage auf der Intensivstation zu den Traumascores. Abhängig von der individuellen Ausgangssituation und dem Schweregrad des Traumas variieren die Veränderungen in ihrer Intensität und Zeitdauer.

Im Kollektiv von 19 Patienten erlitten zwar alle ein Polytrauma, der Schweregrad und die Art der Verletzung waren jedoch sehr heterogen. Anhand dieser Scores war nicht ersichtlich, ob der Patient ein Schädel-Hirn-Trauma mit neurologischen Schäden, eine Anzahl von Knochenbrüchen, eine Gehirnerschütterung, stumpfe und penetrierende Verletzung aufwies.

Ein Patient mit einem Schädel-Hirn-Trauma kann niedrige TRISS und SAPS III Werte haben, wohingegen ein Patient, der einen Verkehrsunfall erlitt, einen hohen TRISS und SAPS III aufweist. Das ist abhängig von der Anzahl der Verletzung. Aus diesem Grund kann der Patient mit den niedrigen Scores eine längere Behandlungsdauer auf der Intensivstation benötigen, da seine Verletzungen komplexer sind, und er eine intensivere Betreuung benötigt.

Die Scores beschreiben zwar die theoretische Erkrankungsschwere, woraus sich auch der Aufenthalt im Krankenhaus berechnen lässt. Für eine spezifischere Aussage muss der Grad der Verletzungen detaillierter in die Auswertung mit eingeschlossen werden.

5.11. Zusammenhang zwischen Wasserbalance und Phasenwinkel

Der Phasenwinkel und die Wasserbalance des Gesamtkollektivs standen während des gesamten Krankenhausaufenthaltes in einem signifikanten Zusammenhang zueinander. Die Korrelation zwischen dem Phasenwinkel und der Wasserbalance zu U1 ($r=-0,805$), zu U2 ($r=-0,938$) und zu U3 ($r=-0,903$) waren stark negativ. In diesem Studienkollektiv ging eine hohe Wasserbalance mit einem niedrigen Phasenwinkel einher.

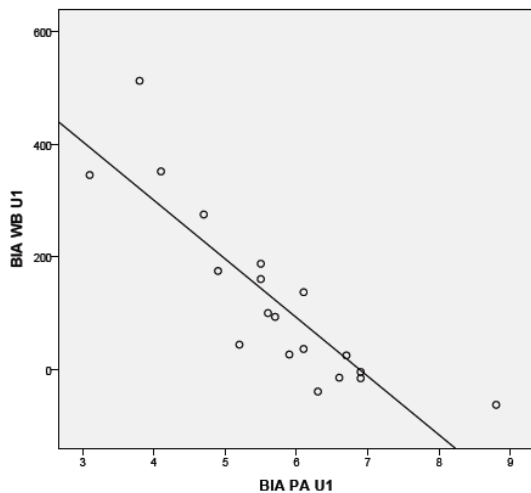


Abbildung 25: Korrelation WB und PA zu U1 ($r=0,805$)

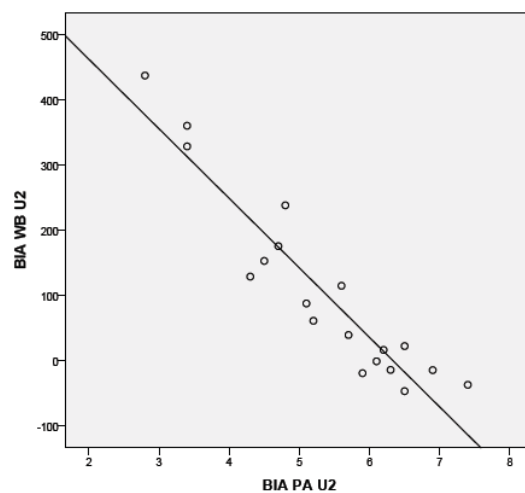


Abbildung 26: Korrelation WB und PA zu U2 ($r=-0,938$)

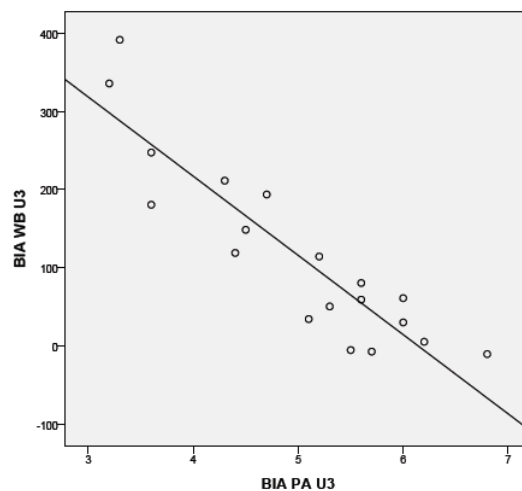


Abbildung 27: Korrelation WB und PA zu U3 ($r=-0,903$)

5.12. Zusammenhang zwischen ECM/BCM-Index und dem Phasenwinkel

Der Zusammenhang zwischen dem ECM/BCM-Index und dem Phasenwinkel war zu allen drei Zeitpunkten U1, U2 und U3 signifikant negativ (U1: $r=-0,925$, U2: $r=-0,953$, U3: $r=-0,972$). Der steigende ECM/BCM-Index korrelierte mit einem sinkenden Phasenwinkel. Je höher der ECM/BCM-Index anstieg, umso schlechter war der Ernährungszustand, umso stärker war die Katabolie der BCM und umso kleiner war der Phasenwinkel.

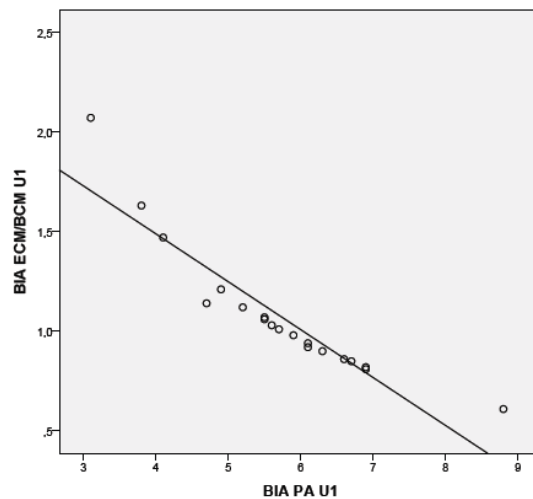


Abbildung 28: Korrelation ECM/BCM-Index und PA zu U1 ($r=0,925$)

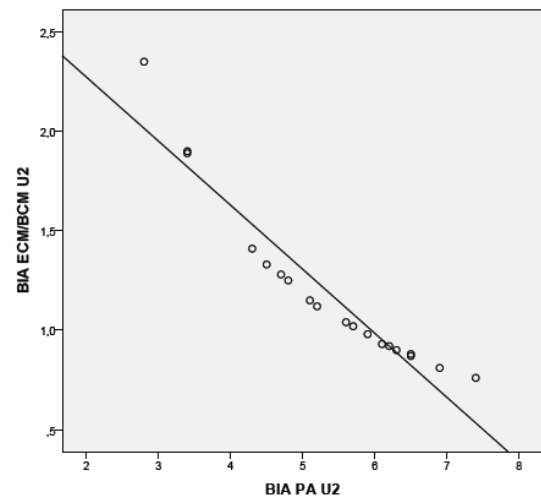


Abbildung 29: Korrelation ECM/BCM-Index und PA zu U2 ($r=-0,953$)

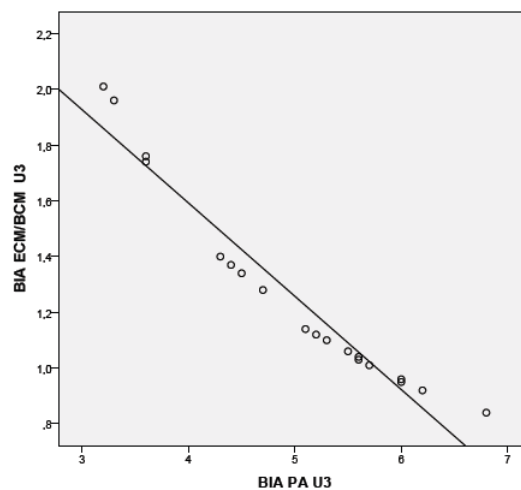


Abbildung 30: Korrelation ECM/BCM-Index und PA zu U3 ($r=-0,972$)

5.13. Ernährungszustand der Patienten im Krankenhaus

Die Ernährung des Patienten im Laufe des gesamten Krankenhausaufenthaltes dient nicht nur der Aufrechterhaltung der Grundbedürfnisse, sondern auch der Beschleunigung der Genesung und der Wiederherstellung der Leistungsfähigkeit, wie sie vor dem Unfall/Verletzung bestand. Da die Ernährung einen maßgeblichen Einfluss auf die Liege- und Verweildauer im Krankenhaus hat [KOH-

LENBERG-MÜLLER et al, 2004], muss in diesem Bereich ein zusätzlicher Schwerpunkt gelegt werden.

Durch klinische Studien wurde bewiesen, dass bis zu 40% normalgewichtiger Patienten (zum Zeitpunkt der Aufnahme) relevant an Gewicht verlieren. Daher sollten vor allem bei schwerkranken Patienten regelmäßige Messungen durchgeführt werden, um eine möglichst frühzeitige Verschlechterung des Ernährungszustands zu dokumentieren und zu behandeln [LÖSER, 2011].

Die Patienten auf der Intensivstation haben größtenteils selber keinen Einfluss auf ihre Ernährung. Der Schweregrad ihrer Verletzung bestimmt die Art der Nahrungszufuhr (enteral, parenteral, oral). Auch wenn die Patienten in diesem Stadium selbstständig essen können, sind das Verlangen und der Appetit nur sehr gering. Der Schwerpunkt liegt bei jenen Patienten, die Nahrung selbstständig zu sich nehmen, und dadurch die Aufenthaltsdauer und ihre eigene Gesundheit beeinflussen können.

Parameter mit Hinweis auf Unter- und/ oder Mangelernährung

In dieser Studie hat der BMI der Patienten im Laufe des Aufenthalts auf der Normalstation signifikant von $25,3\text{kg/m}^2$ auf 23kg/m^2 abgenommen. Der mittlere BMI zum Zeitpunkt der Entlassung liegt prinzipiell im Normbereich von Erwachsenen ($18,5\text{-}24,99\text{kg/m}^2$) [WHO, Internetquelle I] und Menschen über 65 Jahren ($22\text{-}26,9\text{kg/m}^2$) [KONDRUP et al, 2003]. Dieser Trend ist jedoch nicht nur positiv zu bewerten. Die Patienten verlieren so viel Muskelmasse und dadurch Kraft, dass vor allem ältere Menschen Schwierigkeiten haben, ihren täglichen Tätigkeiten nachzugehen.

Das steigende ECW [%] vom TBW und die erhöhte Wasserbalance auf der Normalstation sind ein Hinweis auf mangelnde bis fehlende Bewegung und Behandlung von Ödemen. Die Reduktion vorhandener Ödeme und der Muskelaufbau werden dadurch nicht stimuliert, und der Gesundheitszustand nicht verbessert. Des Weiteren weist ein erhöhtes ECW [%] vom TBW auf eine Unterernährung der Patienten hin (vor allem bei Langzeitpatienten). Der steigende mittlere

ECM/BCM-Index und der sinkende Phasenwinkel auf der Normalstation spiegeln ebenfalls eine Verschlechterung des Ernährungszustands wider.

Ein konkreter Zeitpunkt, ab wann es bei selbstständiger Ernährung der Patienten zu einer Abnahme des Ernährungszustands kam, konnte (nachträglich) in dieser Studie nicht erfasst werden.

Das vor Ort vorhandene Ernährungsteam (bestehend aus Ärzten, Diätologen, Wundmanagern, Pflege- und Hygienepersonal) ist sich bewusst, dass eine Mangel-/ Unterernährung einen Risikofaktor darstellt. Aus diesem Grund erhalten Patienten auf der Intensiv- und Normalstation, bei denen ernährungsmedizinische Indikationen gesetzt werden müssen, eine intensive Ernährungstherapie, inklusive Ernährungsprotokoll- und –bedarfsberechnung, und bei bestehender Notwendigkeit eine Ernährungsberatung. Das Ernährungsteam steht im direkten Kontakt mit der hauseigenen Küche, um jederzeit den speziellen Bedürfnissen der Patienten gerecht zu werden. Insbesondere bei älteren Patienten oder Langzeitpatienten ist es wichtig (aber auch schwierig), das einmal verlorene Gewicht in selber Form wieder zurück zu gewinnen.

Der Grund für die Verschlechterung des Ernährungszustands liegt nicht in den von den Diätologen empfohlenen Speisen. Nach dem Gespräch mit einigen Patienten hat sich herausgestellt, dass viele die Spitalskost nur in geringen Mengen verzehren, da sie nicht ihren Geschmacksvorstellungen entsprechen. Die krankheitsbedingte Appetitlosigkeit, wodurch der Verzehr der empfohlenen Speisen mengenmäßig oft nicht erreicht wird, stellt ein weiteres Problem dar.

Der Speiseplan ist nach dem Rationalisierungsschema 2004 nach Kluthe et al. aufgebaut. Die Vollkost wird als Grundlage für die Krankenhausverpflegung herangezogen. Sie deckt den Bedarf an essenziellen Nährstoffen, die Zusammensetzung ist den üblichen Ernährungsgewohnheiten angepasst, sie berücksichtigt im Energiegehalt den Energiebedarf, sowie die Erkenntnisse der Ernährungsmedizin zur Prävention und Therapie. Die mittlere Empfehlung für die Energiemenge liegt bei 2000kcal/d und die der Nährstoffverteilung bei 15 Ener-

gie-% Eiweiß, 30 Energie-% Fett und 55 Energie-% Kohlenhydrate. Bei immobilen Patienten (z.B. Akutphase) wird ein PAL von 1,2 (entspricht ca. 1850 kcal/d) und bei mobilen Patienten (z.B. Reha) ein PAL von 1,4 (entspricht ca. 2150 kcal/d) nach den Empfehlungen der DGE für Krankenhausernährung herangezogen. [KLUTHE et al, 2004]

Bei Bedarf wird das Speisenangebot für den Patienten individuell abgestimmt. Ob dieses Angebot in Anspruch genommen wird, liegt jedoch in der Verantwortung des Patienten. Regelmäßige Kontrollen werden von den zuständigen Diätologen durchgeführt. Anschließend wird die Therapie evaluiert, optimiert und dokumentiert.

Da einige Patienten mitgebrachte Speisen (z.B. Süßspeisen, Pizza, Cola etc.) im Spital verzehren, ist die Evaluierung der Gesamttageszufuhr schwierig. Das Pflegepersonal oder die Diätologen können nur die Krankenhauskost aussagekräftig dokumentieren (z.B. Tellerdiagramm, Verzehrsprotokoll).

Die prinzipiell einfachste Messmethode um den Ernährungszustand zu ermitteln, ist die Berechnung des BMI. Da sich aber nicht nur das Körpergewicht, sondern auch einzelne Körperkompartimente im Laufe des Spitalsaufenthalts stark ändern können (z.B. Ödembildung, Abnahme der Muskelmasse), sollten zusätzlich BIA-Messungen durchgeführt werden. Für diese Messungen muss das Gewicht der Patienten regelmäßig aktualisiert werden. Denn auch wenn der Patient nach einem Gewichtsverlust von 20kg immer noch adipös ist, kann sein Ernährungszustand sich in diesem kurzen Zeitraum drastisch verschlechtern haben. Je früher das Auftreten einer Unter-/ Mangelernährung erfasst wird, desto effektiver können die daraus resultierenden Maßnahmen den klinischen Verlauf und die Genesung des Patienten beeinflussen [LÖSER, 2011].

6. BIA-Verlaufsmessung an einem konkreten Fallbeispiel

Der Patient hatte einen schweren Verkehrsunfall. Der Schweregrad des Polytraumas wurde mit einem sehr hohem ISS von 43 und einem SAPS III von 50 beschrieben. Der Patient war insgesamt 56 Tage stationär im Krankenhaus, davon 8 Tage auf der Intensiv- und 48 Tage auf der Normalstation.

Da die BIA-Messung stets zweimal die Woche durchgeführt wird, wäre der Patient 17-mal gemessen worden. Aufgrund von Fieber, Operationsterminen, die zum selben Zeitpunkt wie die Messung durchgeführt wurden oder die fehlende Möglichkeit den Patienten abzuwiegen, erfolgten nur 14 Messungen (3 Messungen auf der Intensiv- und 11 Messungen auf der Normalstation).

6.1. Beurteilung der Messergebnisse

Das TBW [%] des Gesamtkörpergewichtes ist bei dem Patienten bei den ersten fünf Messungen mit einem Minimum von 65,1% und einem Maximum von 78,1% deutlich erhöht (Normalbereich bei einem Gesunden zwischen 55-65%). Da das TBW ab der sechsten Messung absinkt und anschließend im Bereich von 56,2-62,1% ähnlich konstant bleibt, deutet das darauf hin, dass der Patient in der Akutphase mit kolloidalen und kristalloiden Lösungen versorgt wurde und sich dadurch der Anteil des ECW erhöht hat. Durch das Ausmaß der Verletzung und den daraus resultierenden Bewegungsmangel kann das ECW nur langsam über die Lymphgefäße abfließen. Sobald sich der Zustand des Patienten verbessert, kann das überflüssige ECW mobilisiert werden und der Wasserhaushalt normalisiert sich wieder. Das erhöhte TBW kann auch durch die Postaggressionsphase verursacht werden.

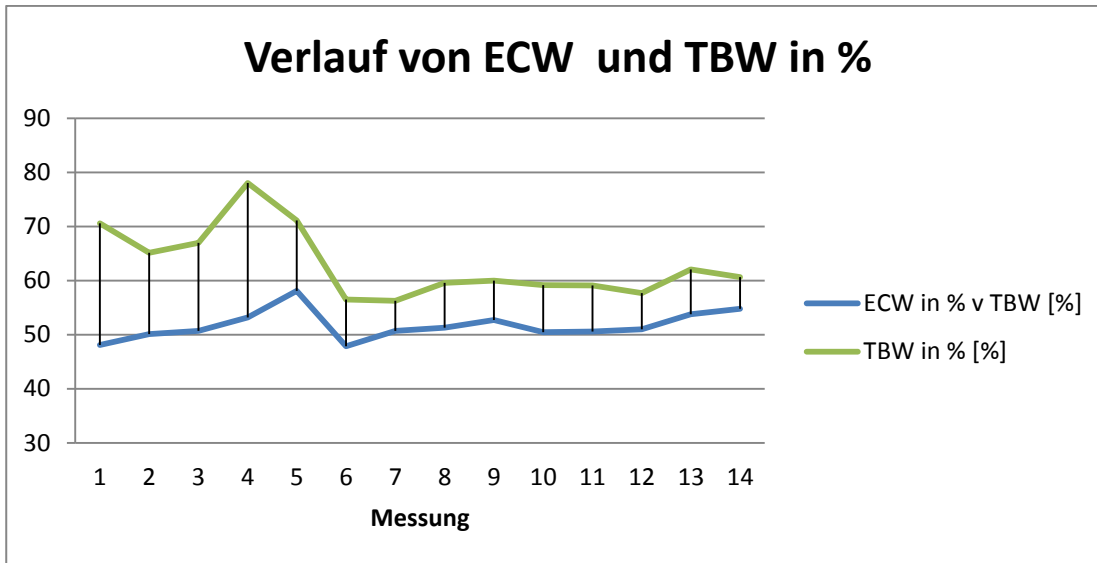


Abbildung 31: Verlauf des mittleren ECW [%] und TBW [%]

Die Wasserbalance sollte sich bei einem gesunden Probanden im Bereich des Medians (0) befinden. Anhand der folgenden Abbildung ist erneut gut zu erkennen, dass bis zur sechsten Messung eine deutlich erhöhte Wasserbalance mit einem Minimum von 188 und einem Maximum von 384 vorliegt. Auf der Normalstation bis hin zur Entlassung sollte die Wasserbalance weiter sinken. Der erneute Anstieg nach der 12ten Messung deutet auf eine erneute Verschlechterung des Gesamtzustandes des Patienten hin.

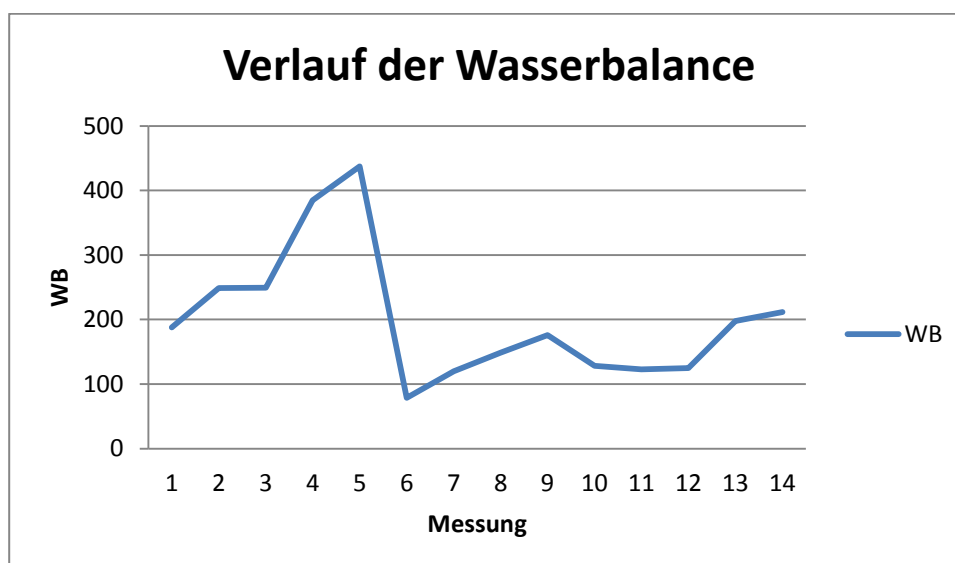


Abbildung 32: Verlauf der mittleren Wasserbalance

Der Patient wird mit einem Phasenwinkel von $5,5^\circ$ ins Spital gebracht. Das deutet auf einen mäßigen Ernährungs- und Trainingszustand hin. Da der Patient auf der Intensivstation unweigerlich an das Bett gefesselt ist, verschlechtert sich der Phasenwinkel auf $3,8^\circ$. Erst nach einiger Zeit auf der Normalstation verbessert sich der Phasenwinkel wieder, schafft es aber nicht, den Ausgangswert wieder zu erreichen. Nach der 12ten Messung ist eine weitere Verschlechterung erkennbar. Diese Verschlechterung könnte aufgrund des langen Bewegungsmangels, einer niedrigen Zellhydratation, einer entstandenen Unterernährung, einer niedrigen Membrandichte oder einer Verschlechterung des Allgemeinzustands des Patienten liegen.

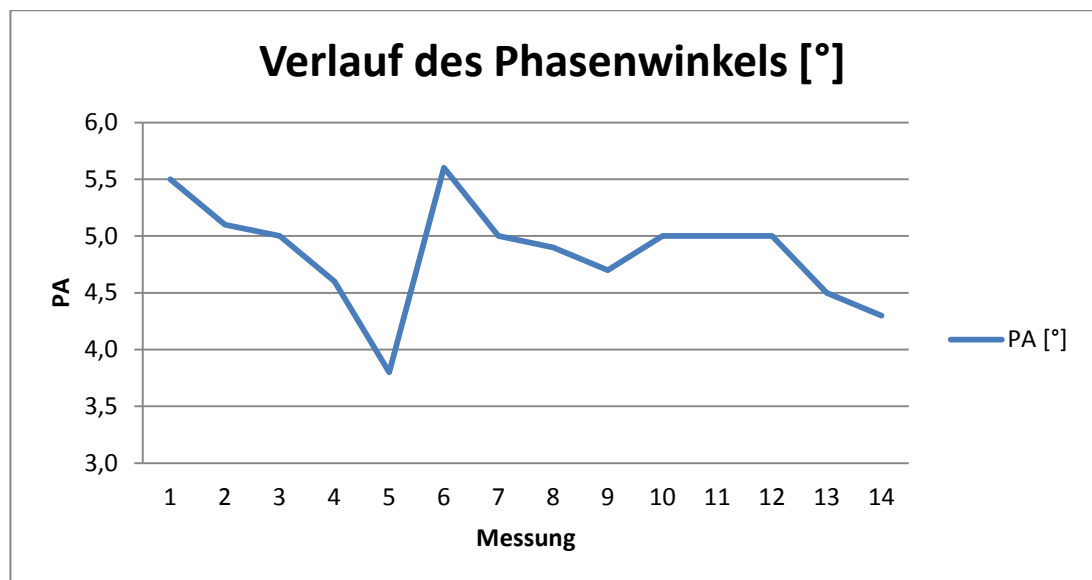


Abbildung 33: Verlauf des mittleren Phasenwinkels

Der Verlauf des ECM/BCM-Indexes steht in einem starken negativen Zusammenhang mit dem Phasenwinkel. Der ECM/BCM-Index verläuft umgekehrt proportional zum Phasenwinkel. Bei der 5ten Messung ist sehr gut erkennbar, dass der niedrigste gemessene Phasenwinkel mit dem höchsten gemessenen ECM/BCM-Index einhergeht.

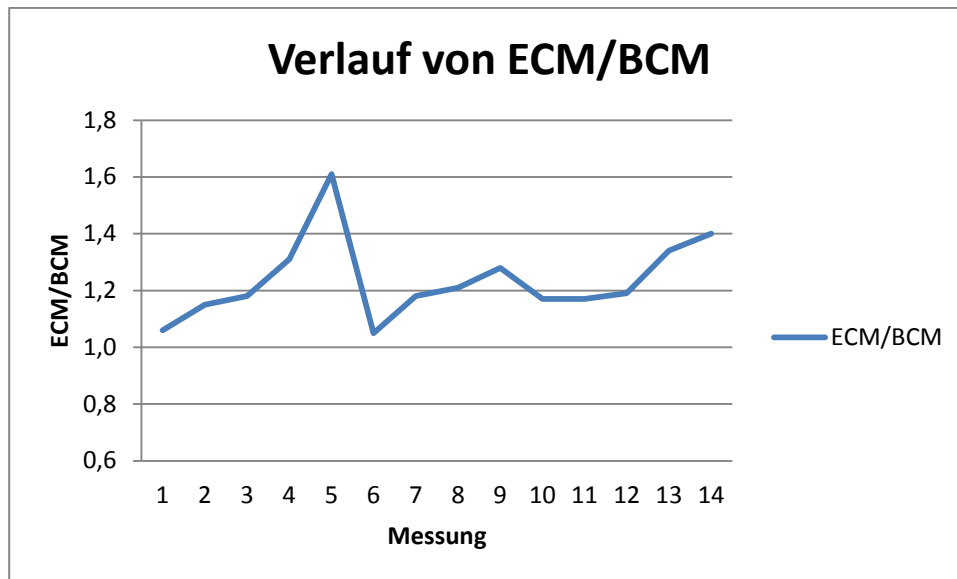


Abbildung 34: Verlauf des mittleren ECM/BCM-Indexes

6.2. Interpretation der Piccoli-Nomogramme

Mit Hilfe des Nomogrammes kann zusätzlich der Ernährungs- und Hydrationszustand bewertet werden.

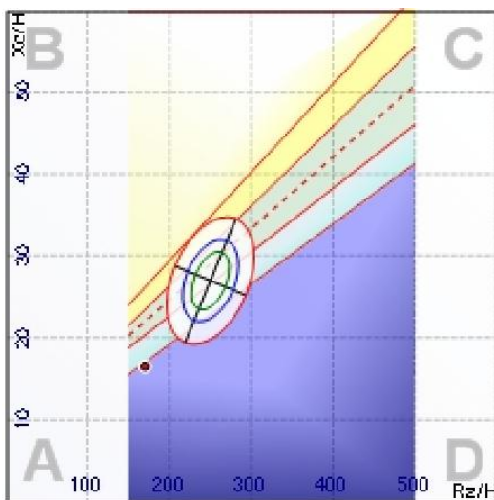


Abbildung 35: Nomogramm zu U1

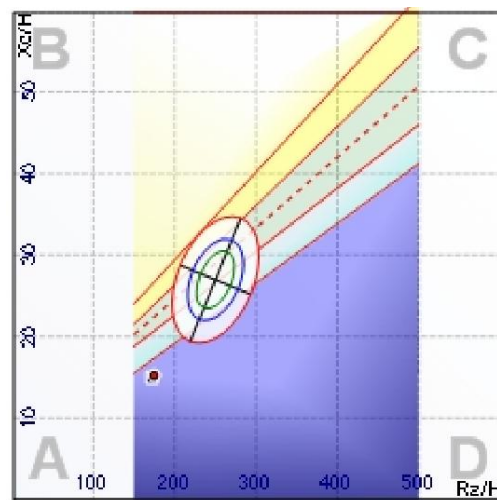


Abbildung 36: Nomogramm zu U2

Die Ergebnisse vom Zeitpunkt U1 und U2 sind sehr ähnlich. Der Messpunkt befindet sich jeweils links neben der Vertikalachse, was auf ausreichende Körperzellmasse hinweist. Umso weiter links sich der Messpunkt befindet, umso

besser ist der Ernährungszustand des Patienten zu beurteilen. Die horizontale Achse gibt einen Hinweis auf den Hydrationszustand. Umso niedriger und weiter entfernt der Messpunkt von der Horizontalachse liegt, desto schlechter ist die Hydratation. Bei diesem Patienten weist der Messpunkt auf Wassereinlagerungen, Ödeme und ein erhöhtes ECW hin. Zu beiden Zeitpunkten befindet sich der Messpunkt außerhalb der äußersten Ellipse. Das bedeutet, dass 95% einer gesunden europäischen Referenzpopulation ein besseres Ergebnis innerhalb dieses Wertes aufweisen [[PICCOLI et al, 2002].

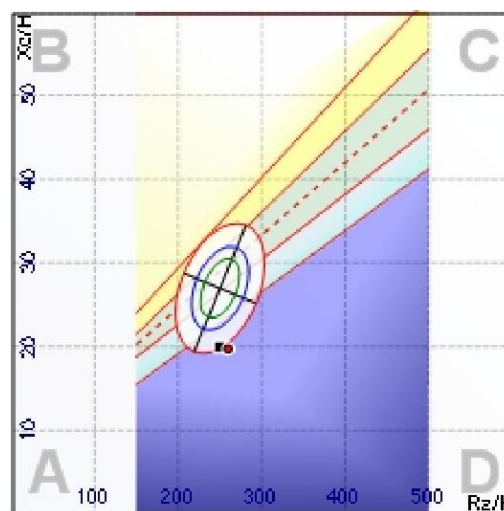


Abbildung 37: Nomogramm zu U3

Zum Zeitpunkt U3 ist eine deutliche Veränderung im Vergleich zu den Nomogrammen von U1 und U2 ersichtlich. Der Messpunkt befindet sich nun rechts von der Vertikalachse und weist auf einen schlechteren Ernährungszustand, als zu U1 und U2 hin. Aber dafür ist der Messpunkt näher der Horizontalachse, dies beschreibt eine Verbesserung des Hydrationsstatus beschreibt (eine Abnahme des ECW, Ödeme etc.).

Zum Zeitpunkt U3 liegt der Messpunkt an der 95% Linie der Referenzgruppe und beschreibt somit im Gesamtzustand eine Verbesserung zu U1 und U2.

6.3. Gesamtinterpretation der Messergebnisse des Patienten

Der Patient befand sich acht Tage (drei Messungen) auf der Intensivstation. Aufgrund der schweren Verletzungen und der durchzuführenden Operationen erhielt er in der Akutphase eine hohe kristalloide und kollidieale Voumenzufuhr (Zeuge Jehova), um den Kreislauf und die Organfunktionen stabil zu halten. Der Körper war nicht imstande, die Flüssigkeit schnell genug abzutransportieren, wodurch der Anteil an extrazellulärem Wasser [%] stark anstieg. Nachdem sich der Patient erholt hat und auf die Normalstation verlegt wurde, besserten sich das Gesamtkörperwasser, das extrazelluläre Wasser, die Wasserbalance, der Phasenwinkel und der ECM/BCM-Index kontinuierlich.

Auffallend ist jedoch, dass sich ab der 12ten Messung alle Parameter wieder verschlechterten. Eine weitere Beobachtung nach der Entlassung des Patienten aus dem Spital wäre sehr interessant.

Weitere Ergebnisdarstellungen von BodyComp siehe im Anhang (14.1. Ergebnisdarstellung mit Balkendiagramm, 14.2. Ergebnisdarstellung bei Segmentalmessung, 14.3. Ergebnisdarstellung mit Hilfe von Referenzbalken).

7. Fehlerbesprechung

7.1. Wissenschaftlichkeit

In diesem Punkt muss erwähnt werden, dass diese Arbeit als Pilotstudie nur einen geringen Anspruch auf Wissenschaftlichkeit oder Vollständigkeit hat, da die Anzahl der Probanden sehr gering und die Einschlusskriterien wenig spezifisch waren. Eine ausgedehntere Studie mit mehr Probanden und detaillierteren Einschlusskriterien bezüglich des Schweregrads und Lokalisierung des Traumas ist zu empfehlen.

Bei der Interpretation der Gesamtergebnisse ist zu berücksichtigen, dass jeder Patient individuell ist. Es handelte sich zwar bei allen Patienten um Polytraumapatienten, aber der Schweregrad der Erkrankung, die Anzahl der Verletzungen, das Alter, die ethnische Zugehörigkeit, die Vorerkrankungen, die vorherige Ernährung und Bewegung, die Ernährung im Spital und der Zustand der Entlassung waren bei jedem Patienten unterschiedlich.

Demnach war das Untersuchungskollektiv aufgrund unterschiedlicher Traumatisierung, verschiedenartiger Operationen, Unterschiede in der Infusionstherapie, Medikation und Ernährung nicht ausreichend homogen. Die Ergebnisse und Veränderungen im Wasserhaushalt, Phasenwinkel, ECM/BCM-Index können nicht als charakteristisch für alle Polytraumapatienten angesehen werden, sondern lediglich als Trends, welche erwartet werden können. Dennoch ist anhand der Trends erkennbar, wie sich die Parameter bei Polytraumapatienten verhalten. Sie können in Zukunft dazu beitragen, dass die Genesung der Patienten schneller fortschreitet und dadurch der Krankenhausaufenthalt verkürzt wird.

7.2. Mögliche Fehlerquellen

Die BIA-Messung wurde stets von derselben Person durchgeführt. Die Patienten konnten sich dadurch auf die Person einstellen, und der Ablauf und die Handhabung mit dem Gerät unterlagen keinen Schwankungen.

Die Intensivstation war für die Durchführung der BIA-Messung optimal. Auf der Normalstation lag die Schwierigkeit teilweise darin, immobile Patienten abzuwiegen. Durch die gute Kommunikation und Zusammenarbeit innerhalb des

Krankenhauses war es möglich, immobile Patienten in ein leeres, zur Verfügung stehendes Bett (inklusive Bettenwaage) von der Intensivstation zu legen. Um diese Komplikation in Zukunft auszuschließen, wäre eine Sitzwaage empfehlenswert, die zu jedem Krankbett auf der Normalstation geschoben werden kann. Dadurch kann eine eventuelle Fehlerquelle aufgrund unterschiedlicher Waagen ausgeschlossen werden.

8. Conclusion

Die Verwendung der bioelektrischen Impedanzanalyse ist eine weitverbreitete Methode zur Ermittlung der Körperzusammensetzung und des Ernährungsstatus bei einem gesunden und kranken Kollektiv. Die vorliegende Studie untersuchte die Auswirkungen eines Polytraumas auf die Körperzusammensetzung.

Der BMI eignet sich zur Charakterisierung des Körpergewichts gesunder Erwachsener. Bei Polytraumapatienten unterlag der BMI jedoch starken Schwankungen und war nicht repräsentativ. Der durchschnittliche Abfall des BMI um 17% vom Zeitpunkt der Aufnahme bis zur Entlassung zeigte aber, dass starke Veränderung der Körperzusammensetzung stattfinden.

Das mittlere TBW [%] war im Gesamtkollektiv zu U1 am Höchsten und zu U2 am niedrigsten. Während des gesamten Krankenhausaufenthalts kam es zu einer signifikanten Abnahme des TBW [%] ($p=0,09$), obwohl es auf der Normalstation signifikant ($p=0,07$) zunahm. Das erhöhte TBW [%] zum Zeitpunkt U1 lässt sich dadurch erklären, dass sich die Patienten unmittelbar nach und teilweise auch noch vor vielen Operationen befanden. Zum Zeitpunkt der Entlassung war das TBW im Normbereich (bei Frauen ca. 50-60%, bei Männern ca. 55-65% des Körpergewichts). Dass Männer im Durchschnitt ein höheres TBW aufwiesen, als Frauen [STOBÄUS et al, 2010], war auch in dieser Studie ersichtlich.

Das mittlere ECW [%] befand sich bereits zum Zeitpunkt U1 über dem Normbereich von 33% des TBW und stieg bis zur Entlassung weiter an. Während des gesamten Krankenhausaufenthalts kam es zu einem kontinuierlichen und insgesamt signifikanten ($p=0,027$) Anstieg des ECW [%].

Ein Auslöser dafür war die Immobilität des Intensivpatienten. Es entstanden Wasseransammlungen und Ödeme. Ein weiterer Grund war die oftmals krankheitsbedingte Appetitlosigkeit, woraus eine zu geringe Zufuhr an Nahrung und wertvollen Nährstoffen resultiert.

Die Auswertung der mittleren Wasserbalance bestätigte die Ergebnisse des ECW. Die Wasserbalance befand sich zu allen drei Zeitpunkten oberhalb der 95% Perzentile und demnach während des gesamten Aufenthalts über dem Referenzwert. Die Schwankungen waren weder auf der Intensiv- ($p=0,684$), noch auf der Normalstation ($p=0,594$) signifikant.

Der Verlauf des mittleren ECM/BCM-Indexes bestätigte die Ergebnisse der Wasserbalance. Der ECM/BCM-Index war zu allen Zeitpunkten ≥ 1 . Auch wenn der Anstieg auf der Intensivstation ($p=0,133$) und auf der Normalstation ($p=0,232$) nicht signifikant war, kam es über den gesamten Krankenhausaufenthalt zu einer signifikanten Verschlechterung ($p=0,037$). Je höher der Index, umso schlechter war der Ernährungszustand und je größer die Wahrscheinlichkeit von Wassereinlagerungen.

Vor allem der ECM/BCM-Index zeigte, dass sich der Ernährungszustand auf der Normalstation verschlechterte, obwohl er sich eigentlich verbessern sollte.

Der mittlere Phasenwinkel befand sich zum Zeitpunkt U1 in einem Bereich, der auf eine ausreichende Ernährung und eine geringe sportliche Aktivität hinwies. Auf der Intensivstation war keine signifikante Veränderung erkennbar. Erst auf der Normalstation kam es zu einer signifikanten Verschlechterung ($p=0,037$). Erneut war das ein Hinweis darauf, dass sich der Ernährungs- und Gesundheitszustand des Patienten auf der Normalstation nicht verbesserte, sondern verschlechterte.

Dass der Phasenwinkel bei den Frauen signifikant niedriger war, als bei den Männern [BARBOSA-SILVA et al, 2005], konnte in dieser Studie nicht bestätigt werden. Dafür war das Studienkollektiv zu klein, und die Geschlechterverteilung nicht ausgewogen verteilt (4 Frauen, 15 Männer).

Die Reaktanz und die Resistanz befanden sich zu allen drei Zeitpunkten im Normbereich ($R_z=450-650 \text{ Ohm}$, $X_c=45-65 \text{ Ohm}$) Stobäus et al. beschrieb, dass die Abnahme des TBW mit einem Anstieg des Resistanzwertes einhergeht

[STOBÄUS et al, 2010]. Das konnte auch durch diese Studie bestätigt werden. Der niedrige Reaktanzwert wies auf eine verminderte Körperzellmasse hin.

Jeder Studienteilnehmer hatte ein Polytrauma ($ISS > 16$). Die Anzahl der Tage auf der Intensiv- und Normalstation wichen jedoch signifikant voneinander ab (Intensivstation = $17,8 \pm 16,6$ Tage, Normalstation = $31,9 \pm 27,4$ Tage). Trotz Polytrauma bei jedem Patienten, unterschieden sich der Schweregrad der Verletzung und die daraus resultierende Behandlung jedes einzelnen. Es gab in diesem Kollektiv keinen signifikanten Zusammenhang zwischen der Gesamtaufenthaltsdauer oder der Tage auf der Intensivstation zu den Traumascores TRISS und SAPS III.

Ein signifikant positiver Zusammenhang bestand zwischen dem SAPS III- Score und dem TBW [%] zu U1. Das lässt sich dadurch erklären, dass in der Akutphase die Regulationsmechanismen der Patienten den Ausgleich der Hydratation durch Traumen, Infusionen und ärztlichen Maßnahmen nicht herstellen konnten. Dieser Zusammenhang bestand jedoch nicht mit dem TRISS-Score. An dieser Stelle bedarf es noch weiterer Untersuchungen. Ebenso hatte die Höhe der Trauma-Scores keinen Einfluss auf den Phasenwinkel und die Wasserbalance.

Aus den Ergebnissen der vorliegenden Studie kann geschlossen werden, dass ein Polytraumapatient auf der Intensivstation ein erhöhtes TBW [%], ECW [%], Wasserbalance und ECM/BCM-Index aufweist. Das sind Hinweise auf Wasseransammlungen, Ödeme und Bewegungsmangel. Andererseits resultierten diese Ergebnisse aus der unterschiedlichen Medikation, verschiedenartiger Operationen, Unterschieden in der Infusionstherapie und unterschiedlicher Traumatisierungen. Vor allem der Phasenwinkel wies vom Zeitpunkt der Aufnahme bis zur Entlassung auf einen langsamen Abbau des Gesundheits- und Ernährungszustands hin.

Aus diesem Grund sollte bei der Behandlung eines Patienten nicht nur ein Schwerpunkt auf die Heilung der Verletzungen gelegt werden, sondern auch

auf die Erhaltung bzw. Wiedererlangung der jeweils optimalen Körperzusammensetzung und die dafür notwendige „richtige“ Ernährung.

8.1. Ausblick

Das weitgefächerte Gebiet des Polytraumas und die sich dadurch verändernde Körperzusammensetzung und Ernährungszustand lässt noch viele Fragen unbeantwortet und Platz für weitere Studien. Ein interessanter Aspekt wäre es, die Patienten nach ihrer Entlassung in regelmäßigen Abständen weiter zu untersuchen und BIA-Messungen durchzuführen.

In zukünftigen Studien muss die klinische Aussagekraft der verwendeten Parameter weiter validiert werden. Ebenso muss die Hypothese geprüft werden, dass der Schweregrad des Traumas keinen Einfluss auf diese Parameter hat. Dafür ist ein größeres und homogeneres Studienkollektiv nötig.

Ein möglicher Ansatz für die Verbesserung des Ernährungszustands während des gesamten Krankenhausaufenthaltes, wäre die Einführung von Ernährungsscreenings bei der Neuaufnahme jedes Patienten. Dadurch könnte eine Mangelernährung unmittelbar bei der Aufnahme erfasst, und sofort behandelt werden. (z.B. „Screening auf Mangelernährung im Krankenhaus, Nutritional Risk Screening“ von Kondrup et al, 2004, siehe Anhang 14.4.)

Ausschlaggebend für solche Screenings ist die kontinuierliche Gewichtskontrolle und die Durchführung von BIA-Messungen auf den Stationen, vor allem bei Langzeitpatienten. Auf Grund mangelnder Zeitressourcen und der unterschiedlichen Art der Verletzung (z.B. Gips, Fixateure, etc.) der Patienten, ist das Abwiegen auf der Normalstation eine große Herausforderung für das Pflegepersonal, und wird nur bei notwendigem Bedarf durchgeführt.

Auf Grund Personalmangels ist die persönliche Betreuung jedes einzelnen Patienten durch die Diätologen nicht möglich. Diese tritt erst in Kraft, wenn der zuständige Arzt es verordnet.

9. Protokoll

17.06.2011	Erstes Gespräch mit OA Dr. Inge Gerstorfer (Studienleiterin) Zusage als Mitarbeiterin an der Studie
01.07.2011	Zusage als Praktikantin im UKH Meidling zur Vorbereitung der Studie Erste Durchführung einer BIA-Analyse bei Intensivpatienten
21.11.2011	Zustimmung der Ethikkommission
22.11.2011	Start der Studie
01.03.2012	Abgabe des praktischen Teils an Verena Hintsteiner

10. Zusammenfassung

Hintergrund: Die Verwendung der bioelektrischen Impedanzanalyse (BIA) ist eine weitverbreitete Methode zur Ermittlung der Körperzusammensetzung und des Ernährungszustandes bei einem gesunden und einem kranken Kollektiv.

Design/ Methode: In Form einer prospektiven, nicht-interventionellen Studie wird bei 19 Polytraumapatienten mit der BIA der Verlauf und die Veränderung der Körperzusammensetzung während des gesamten Krankenhausaufenthalts gemessen und mit der Software BodyComp V 8.5 ausgewertet. Die Patienten werden anhand des Traumascores ISS (Injury Severity Score) für die Studie ausgewählt.

Ziel: Die Ziele der vorliegenden Studie sind das kontinuierliche Monitoring der Katabolie, die Darstellung der Auswirkungen eines Polytraumas auf die Körperzusammensetzung, die Veränderung des Ernährungszustandes und die Ermittlung des Zusammenhangs dieser Parameter mit der Dauer des Krankenhausaufenthaltes.

Resultat: Die Ergebnisse dieser Studie zeigen die erhöhten Werte eines Polytraumapatienten bei der Aufnahme auf die Intensivstation im Mittel mit 61,9% TBW (Referenzwert 50-65%), 47,8% ECW vom TBW (Referenzwert 33%), 123,2 Wasserbalance (Referenzwert=0) und 1,1 ECM/BCM-Index (Referenzwert=1).

Während des gesamten Krankenhausaufenthaltes von der Aufnahme auf die Intensivstation (U1), über die Transferierung auf die Normalstation (U2) bis hin zur Entlassung (U3) kam es zu einer signifikanten Abnahme des TBW [%] ($p=0,09$) und des ECM/BCM-Indexes ($p=0,037$). Das ECW [%] vom TBW stieg signifikant ($p=0,027$). Der PA sank erst von U2 zu U3 signifikant ($p=0,037$). Die Wasserbalance befand sich zu allen drei Zeitpunkten oberhalb der 95% Perzentile und war somit stets über dem Referenzwert. Die Reaktanz und die Resistanz befanden sich zu allen drei Zeitpunkten im Normbereich ($R_z=450-650\text{ Ohm}$, $X_c=45-65\text{ Ohm}$).

Der Traumascore SAPS III stand in einem signifikant positiven Zusammenhang ($p=0,027$, $r=0,507$) mit dem TBW [%] zu U1. Alle anderen genannten Parameter standen in keinem signifikanten ($p>0,05$) Zusammenhang mit dem Schweregrad der Verletzung und der Aufenthaltsdauer im Krankenhaus.

Conclusion: Die BIA-Messung eignet sich hervorragend für Verlaufsuntersuchungen bei Polytraumapatienten. Die Änderungen des TBW [%], ECW [%] vom TBW, PA, Wasserbalance und ECM/BCM-Index wurden während des gesamten Krankenhausaufenthalts erfasst. Durch die Behandlung der Grunderkrankung, die Vermeidung der sich verschlechternden BIA-Parameter und der gleichzeitigen Optimierung der Ernährung kann der Krankenhausaufenthalt verkürzt werden.

11. Summary

Background: Bioelectrical impedance analysis (BIA) is a common method to determine the body composition and the nutritional condition of healthy as well as people with diseases.

Design/ Methods: The development and changes of the body composition of 19 poly trauma patients was prospectively, non-interventionally measured by BIA during the whole hospitalization. The results were calculated and evaluated by BodyComp V 8.5. The patients were admitted into the study according to their trauma score ISS (injury severity score).

Objectives: The present work was conducted to investigate the catabolism, the effects of a poly trauma on the body composition and the changes in the dietary condition. Furthermore, the correlation between these parameters and the duration of hospitalization were calculated.

Results: The results of the study shows the increase in parameters (on average) of patients with poly trauma at the time of hospital admission with 61,9% TBW (RL=50-65%), 47,8% ECW of TBW (RL=33%), 123,2 water balance (RL=0) and 1,1 ECM/BCM-index (RL=1).

During the entire hospitalization from the hospital admission of the intensive care unit (U1), to the transfer of the general ward (U2) right up to the discharge from hospital (U3) the TBW [%] ($p=0,09$) and the ECM/BCM-index ($p=0,037$) decreased significantly. The ECW [%] of the TBW increased during this time considerably ($p=0,027$). The PA decreased only from U2 to U3 significantly ($p=0,037$). The water balance remained constant above the 95% percentile within the entire period, which is above the reference level. To all three time points resistance and reactance remain within the reference ranges ($R_z=450-650$ Ohm, $X_c=45-65$ Ohm).

The trauma score SAPS III was significantly associated with the TBW [%] to U1 ($p=0,027$, $r=0,507$). All other parameters showed no significant association with the duration of hospitalization or the severity of the disease.

Conclusions: BIA is a prognostic measurement for follow-up studies in patients with poly trauma. Changes in the TBW [%], ECW [%] of the TBW, PA, water balance and ECM/BCM-index can be documented during the whole hospitalization. The therapy of the primary disease, the prevention of aggravation of the BIA-parameters and the optimization of the nutrition can reduce the duration of hospitalization.

12. Literaturverzeichnis

- BARBOSA-SILVA MCG, BARROS AJD, WANG J, HEYMSFIELD SB, PIERSON Jr. RN. Bioelectrical impedance analysis: population reference values for phase angle by age and sex. *Am J Clin Nutr* 2005; 82:49-52.
- BAUMGARTNER RN, CHUMLEA WC, ROCHE AF. Bioelectrical impedance phase angle and body composition. *The American Journal of Clinical Nutrition* 1988; 48:16-23.
- BIESALSKI HK, BISCHOFF SC, PUCHSTEIN C. Ernährungsmedizin. Nach dem neuen Curriculum Ernährungsmedizin der Bundesärztekammer. 4., vollständige und erweiterte Auflage 2010, Georg Thieme Verlag KG, Stuttgart.
- Bioelectrical Impedance Analysis in Body Composition Measurement. NIH Technol Assess Statement 1994 Dec 12-14;1-35.
- BOSY-WESTPHAL A, DANIELZIK S, DÖRHÖFER PR, LATER W, WIESE S, MÜLLER MJ. Phase angle from bioelectrical impedance analysis: population reference values by age, sex, and body mass index. *Journal Parenter Enteral Nutr* 2006 (a); 30:309-316.
- BOSY-WESTPHAL A, KORTH O, MÜLLER MJ. Body Composition Research: Von klassischen Kompartimentmodellen zu metabolischen und qualitativen Analysen. *Aktuelle Ernährungsmedizin* 2005; 30:130-135. Georg Thieme Verlag Stuttgart, New York.
- BOSY-WESTPHAL A, KROMEYER-HAUSSCHILD K, PIRLICH M, SCHLATTMANN A, SCHOLZ GH, MÜLLER MJ. Körperzusammensetzung – Was kann man wie und mit welchem Wert in der Praxis messen? *Aktuelle Ernährungsmedizin* 2006 (b); 31:189-195, Georg Thieme Verlag Stuttgart, New York.
- BROCKHAUS – Ernährung, F.A. Brockhaus, Leipzig, Mannheim, 2004.

- BROSCH N. Die Wertigkeit des Body Mass Index (BMI) bei geriatrischen Patienten. 2009, Diplomarbeit, Universität Wien.
- BÜHREN V, TRENTZ O. Checkliste Traumatologie. 6. Überarbeitete und erweiterte Auflage, 2006. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, New York.
- Das BIA- Kompendium, 3. Ausgabe. Data Input, Body Composition. 2005 Data Input GmbH, Darmstadt.
- DÖRHÖFER R, PIRLICH M. Das BIA-Kompendium. 2007; 3. Ausgabe 04.
- EDLINGER E. Die Bedeutung der bioelektrischen Impedanzanalyse (BIA) im geriatrischen Bereich. Journal für Ernährungsmedizin. 2002; 4;24-25.
- ELMADFA I, LEITZMANN C. Ernährung des Menschen. 4., korrigierte und aktualisierte Auflage. 2004, Eugen Ulmer GmbH & Co, Stuttgart.
- ELMADFA I. Ernährungslehre. 2004, Verlag Eugen Ulmer GmbH & Co, Stuttgart.
- FOSTER KR, LUKASKI HC. Whole-body impedance – what does it measure? Am. J. Clin. Nutr. Suppl. 1996; 64:388-396.
- GEROK W, HUBER C, MEINERTZ T, ZEIDLER H. Die Innere Medizin, Referenzwerte für den Facharzt. 11.Auflage, 2007, Schattauer GmbH, Stuttgart.
- GUPTA D, LAMMERSFELD CA, BURROWS JL, DAHLK SL, VASHI PG, GRUTSCH JF, HOFFMAN S, LIS CG. Bioelectrical impedance phase angle in clinical practice: implications for prognosis in advanced colorectal cancer. The American Journal of Clinical Nutrition 2004; 80:1634-8.
- HARTIG W, BIESALSKI HK, DRUML W, FÜRST P, WEIMANN A. Ernährungs- und Infusionstherapie. Standards für Klinik, Intensivstation und Ambulanz. 8., vollständig neu überarbeitete Auflage, 2004 Georg Thieme Verlag, Stuttgart.

- HARTL WH, RITTLER P. Metabolisches Monitoring des Intensivpatienten. Aktuelle Ernährungsmedizin 2002; 27:408-415. Georg Thieme Verlag Stuttgart, New York.
- HERPERTZ U. Ödeme und Lymphdrainage. Diagnose und Therapie von Ödemkrankheiten. 4. Auflage, 2010, Schattauer GmbH, Stuttgart
- KLUTHE R, DITTRICH A, EVERDING R, GEBHARDT A, HUND-WISSNER E, KASPER H, ROTTKA H, RABAST U, WEINGARD A, WILD M, WIRTH A, WOLFRAM G. Das Rationalisierungsschema 2004 des Bundesverbandes Deutscher Ernährungsmediziner (BDEM) e.V., der Deutschen Adipositas Gesellschaft e.V., der Deutschen Akademie für Ernährungsmedizin (DAEM) e.V., der Deutschen Gesellschaft für Ernährung (DGE) e.V., der Deutschen Gesellschaft für Ernährungsmedizin (DGEM) e.V., des Verbands der Diätassistenten- Deutscher Bundesverband (VDD) e.V. und des Verbands der Diplom-Oecotrophologen (VDO_E) e.V. Aktuelle Ernährungsmedizin 2004; 29:245-253. Georg Thieme Verlag KG Stuttgart, New York
- KOHLENBERG-MÜLLER K, POLTERMANN B, RADZIWILL R. Screening der Fehlernährung in einem Klinikum. Nutritional Risk Screening in a Teaching Hospital. Aktuelle Ernährungsmedizin 2004; 29:78-83, Georg Thieme Verlag KG Stuttgart, New York.
- KONDRUP J, ALLISON SP, ELIA M, VELLAS B, PLAUTH M. ESPEN Guidelines for Nutrition Screening 2002. Clinical Nutrition 2003, 22(4): 415-421
- KREYMANN G, EBENER C, HARTL W, HEYMAN C von, SPIES C. DGEM-Leitlinie Enterale Ernährung: Intensivmedizin. DGEM Guidelines Enteral Nutrition: Intensive Care. Aktuelle Ernährungsmedizin 2003; 28, Supplement 1:42-50. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, New York.
- KUSHNER FR, SCHOELLER DA, FJELD CR, DANFORD L. Is the impedance index (ht^2/R) significant in predicting total body water? Am J Clin Nutr 1992; 56:835-9.

- KYLE UG, BOSAEUS I, DE LORENZO AD, DEURENBERG P, ELIA M, GOMEZ JM, LILIENTHAL HEITMANN B, KENT-SMITH L, MELCHIOR JC, PIRLICH M, SCHARFETTER H, SCHOLS AMWJ, PICHARD C. Bioelectrical impedance analysis – **part II**: utilization in clinical practice. Clinical Nutrition 2004; 23:1430-1453 (b)
- KYLE UG, BOSAEUS I, DE LORNZO AD, DEURENBERG P, ELIA M, GOMEZ JM, LILIENTHAL HEITMANN B, KENT-SMITH L, MELCHIOR JC, PIRLICH M, SCHARFETTER H, SCHOLS AMWJ, PICHARD C. Bioelectrical impedance analysis **part I**: review of principles and methods. Clinical Nutrition 2004; 23:1226-1243 (a)
- LÖFFLER G, PETRIDES PE. Biochemie und Pathobiochemie, Springer Verlag, Achte Auflage, 2006.
- LÖSER C. Unter- und Mangelernährung. Klinik – moderne Therapiestrategien – Budgetrelevanz. 1. Auflage, 2011, Georg Thieme Verlag KG Stuttgart
- LUKASKI HC, BOLONCHUK WW. Estimation of body fluid using tetrapolar bioelectrical impedance measurements. Aviat. Space Environ Med. 1988 Dec; 59 (12): 1163-9.
- MIKA C, HERPERTZ-DAHLMANN B, HEER M, HOLTKAMP K. Improvement of Nutritional Status as Assessed by Multifrequency BIA During 15 Weeks of Refeeding in Adolescent Girls with Anorexia Nervosa. J.Nutr. 2004; 134:3026-3030.
- MÜLLER MJ, BOSY-WESTPHAL A. Körperzusammensetzung – Definition und Methoden. Aktuelle Ernährungsmedizin 2000; 25:60-63, Georg Thieme Verlag Stuttgart.
- MÜLLER MJ. Bioelektrische Impedanzanalyse: Auf dem Weg zu einer standardisierten Methode zur Charakterisierung der Körperzusammensetzung

zung. Aktuelle Ernährungsmedizin 2000; 25:167-169. Georg Thieme Verlag Stuttgart.

- O'BRIEN C, YOUNG AJ, SAWKA MN. Bioelectrical Impedance to Estimate Changes in Hydration Status. Int J Sports Med 2002; 23:361-366. George Thieme Verlag Stuttgart, New York.
- OESTERN HJ. Das Polytrauma. Präklinisches und klinisches Management. Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie. 1.Auflage 2008, Elsevier GmbH, München.
- PICCOLI A, PILLON L, DUMLER F. Impedance Vector Distribution by Sex, Race, Body Mass Index and Age in the United States: Standard Reference Intervals as Bivariate Z Scores. Nutrition 2002; 18:153-167.
- PICCOLI A, ROSSI B, PILLON G, BUCCIANTE G. A new method for monitoring body fluid variation by bioimpedance analysis: The RXc graph. Kidney International, 1994, Vol.46, pp. 534-539.
- PICCOLI A. Bioelectric Impedance Measurement for Fluid Status Assessment. 2010, Vol. 164, pp. 143-152. In: Contributions to Nephrology. Fluid Overload, Diagnosis and Management (Ronco C), S. Karger AG, Basel, Switzerland.
- PIRLICH M, KRÜGER A, LOCHS H. BIA-Verlaufsuntersuchungen: Grenzen und Fehlermöglichkeiten. Aktuelle Ernährungsmedizin 2000; 25:64-69. Georg Thieme Verlag Stuttgart.
- PIRLICH M, PLAUTH M, LOCHS H. Bioelektrische Impedanzanalyse: Fehlerquellen und methodische Grenzen bei der klinischen Anwendung zur Analyse der Körperzusammensetzung. Aktuelle Ernährungsmedizin 1999; 24:81-90. Georg Thieme Verlag Stuttgart.

- SCHLEY, G. Physiologie und Pathophysiologie. In: Störungen des Wasser-, Elektrolyt- und Säure-Basenhaushaltes. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York, 1981; 13-25.
- SPRINGMANN K. Einführung der relativen statistischen Interpretation von Impedanzmessungen mit BodyComp V 8.1 Professional. MEDI CAL HealthCare GmbH, ©2007.
- STOBÄUS N, NORMAN K, PIRLICH M. Phasenwinkel und Bioelektrische Impedanzvektoranalyse – Klinische Anwendbarkeit der Impedanzparameter. Aktuelle Ernährungsmedizin 2010; 35:124-130, Georg Thieme Verlag Stuttgart, New York.
- Stroh S. Methoden zur Erfassung der Körperzusammensetzung. Ernährungsumschau 1995; 42, 3:88-94.
- SUN SS, CHUMLEA WC, HEYMSFIELD SB, LUKASKI HC, SCHOELLER D, FIREDL K, KUCZMARSKI RJ, FLEGAL KM, JOHNSON CL, HUBBARD VS. Development of bioelectrical impedance analysis prediction equations for body composition with the use of a multicomponent model for use in epidemiologic surveys. Am J Clin Nutr 2003; 77:331-40.
- Suter PM. Checkliste Ernährung 2008;337.
- TORRES AG, OLIVEIRA KJF, OLIVEIRA-JUNIOR AV, GONCALVES MC, KOURY JC. Biological determinants of phase angle among Brazilian elite athletes. Proceedings of the Nutrition Society 2008; 67: (OCE8), E332.
- VOLKERT D. Körperzusammensetzung im Alter. Aktuelle Ernährungsmedizin 2004; 29:69-77, Georg Thieme Verlag Stuttgart, New York.

13. Internetquellen

- I. http://apps.who.int/bmi/index.jsp?introPage=intro_3.html (Zugriffsdatum: 23.04.2012, 13:52)
- II. Abbildung 6: http://www.inbody.de/assets/inbodyPopup/inBodyErfolg2.html?KeepThis=true&TB_iframe=true&height=460&width=410 (Zugriff: 09.06.2012, 21:47)
- III. Abbildung 13: <http://www.bia-messung.at> (Zugriff: 10.06.2012, 22:10)

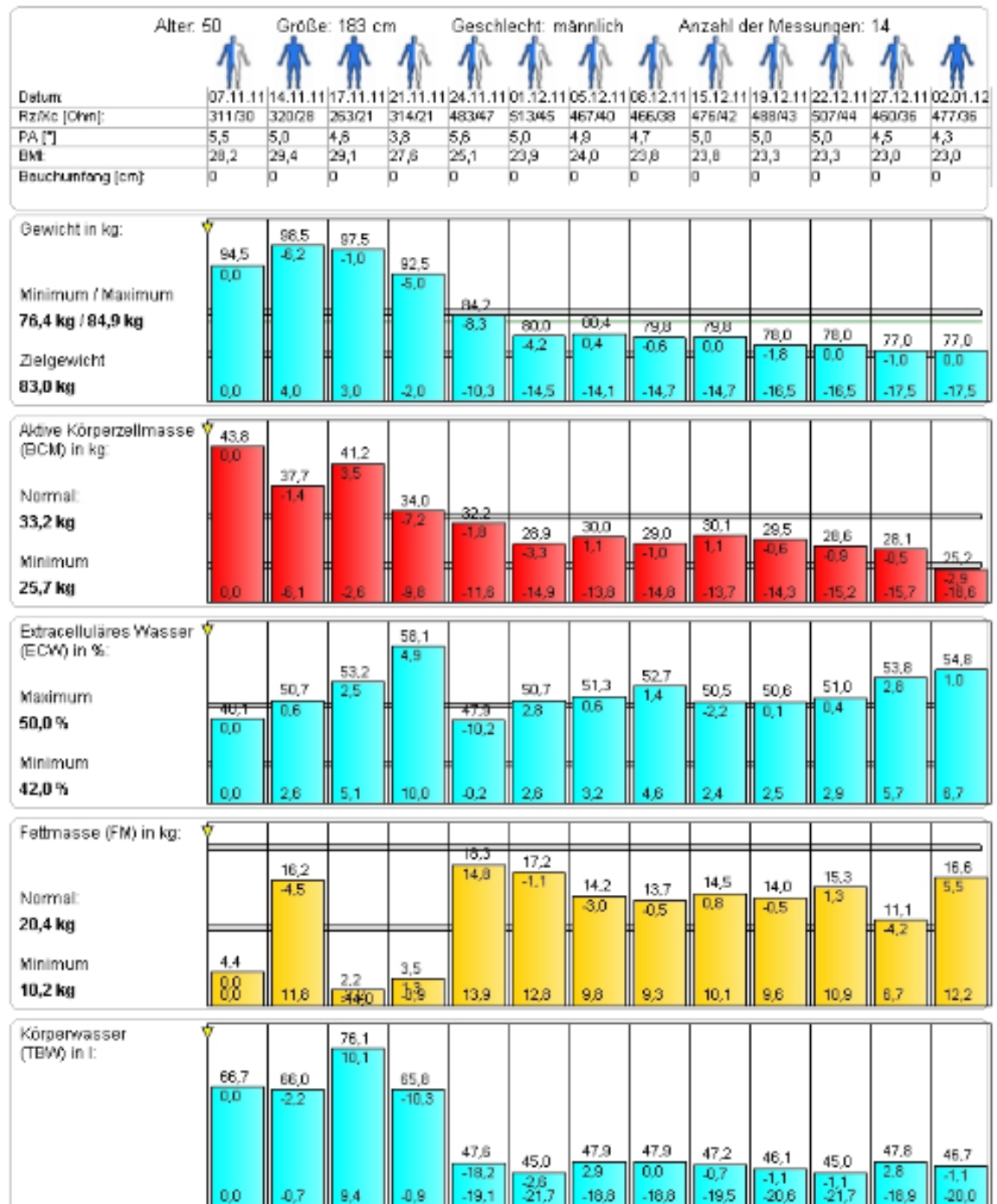
Literatur zur Verfügung gestellt von MEDI CAL HealthCare GmbH

- Benutzerhandbuch BIA-Software BODYCOMP V 8.5 + BIACORPUS RX 4000 + Professional Edition (scientific)
- Durchführung und Interpretation von phasensensitiven BIA Messungen mit BodyComp V 8.5. MEDI CAL HealthCare GmbH, Amalienbadstraße 41, 76227 Karlsruhe, Stand: 22.09.2011

14. Anhang

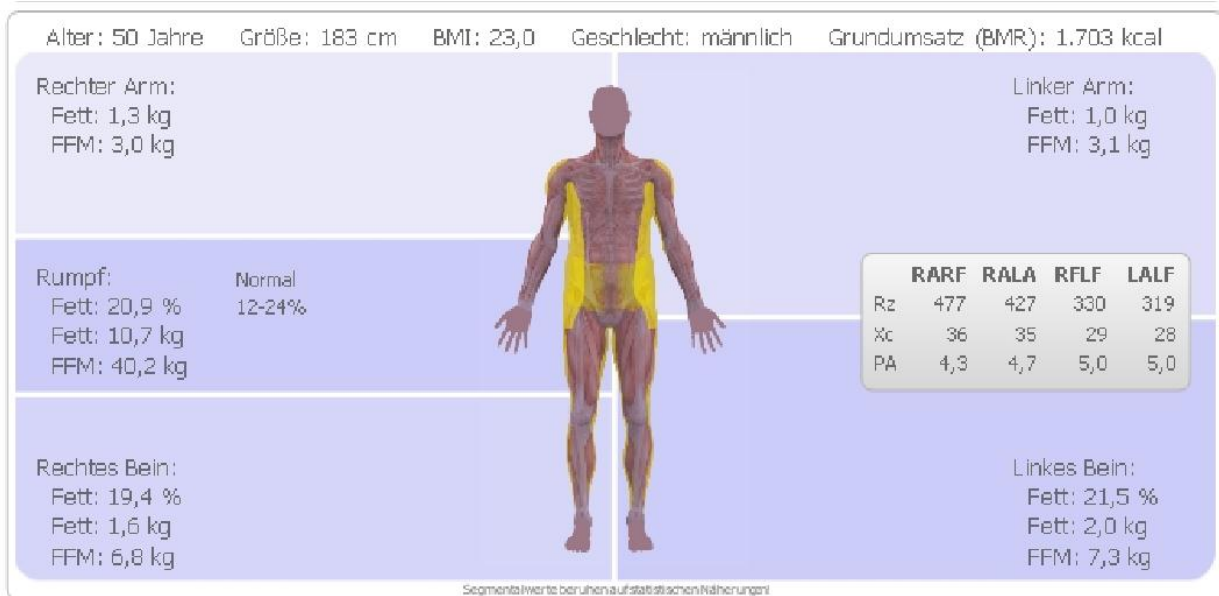
14.1. Ergebnisdarstellung mit Balkendiagramm

Bei blauer Darstellung des Menschen in der obersten Zeile, ist eine segmentale Messung durchgeführt worden. Wenn die Darstellung blau/weiß ist, dann wurde die Messung nur an einer Körperhälfte durchgeführt. Die Grafik gibt keinen Aufschluss darüber, an welcher Körperhälfte die Messung durchgeführt wurde.



14.2. Ergebnisdarstellung bei einer Segmentalmessung

Bei einer Segmentalmessung (Messung auf beiden Körperhälften) hilft diese graphische Darstellung vor allem den Patienten um zu verstehen, wo sich ihr Körperfett verteilt bzw. zentriert.



14.3. Ergebnisdarstellung mit Hilfe von Referenzbalken

Auswertungsergebnisse:

Körpergewicht: 77,0 kg

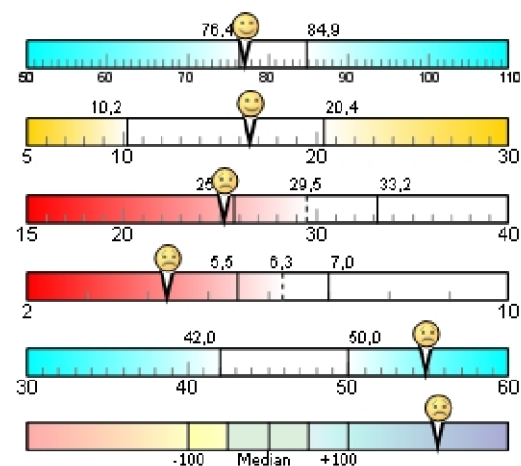
Fettmasse: 16,6 kg

Körperzellmasse (BCM): 25,2 kg

Phasenwinkel: 4,3 °

% ECW vom TBW 54,8

Wasser-Balance: 211,4



14.4. Screening auf Mangelernährung im Krankenhaus

Abb. 3: Screening auf Mangelernährung im Krankenhaus

Nutritional Risk Screening (NRS 2002)

nach Kondrup J et al., Clinical Nutrition 2003; 22: 415-421

Empfohlen von der Europäischen Gesellschaft für Klinische Ernährung und Stoffwechsel (ESPEN)

Vorscreening:

- Ist der Body Mass Index $< 20,5 \text{ kg/m}^2$? ☐ ja ☐ nein
- Hat der Patient in den vergangenen 3 Monaten an Gewicht verloren? ☐ ja ☐ nein
- War die Nahrungszufuhr in der vergangenen Woche vermindert? ☐ ja ☐ nein
- Ist der Patient schwer erkrankt? (z.B. Intensivtherapie) ☐ ja ☐ nein

- ⇒ Wird eine dieser Fragen mit „Ja“ beantwortet, wird mit dem Hauptscreening fortgefahren
- ⇒ Werden alle Fragen mit „Nein“ beantwortet, wird der Patient wöchentlich neu gescreent.
- ⇒ Wenn für den Patienten z.B. eine große Operation geplant ist, sollte ein präventiver Ernährungsplan verfolgt werden, um dem assoziierte Risiko vorzubeugen.

Hauptscreening:

Störung des Ernährungszustands	Punkte		Krankheitsschwere	Punkte
Keine	0		Keine	0
Mild	1		Mild	1
Gewichtsverlust $> 5\%$ / 3 Mo. <u>oder</u> Nahrungszufuhr $< 50-75\%$ des Bedarfes in der vergangenen Woche			z.B. Schenkelhalsfraktur, chronische Erkrankungen besonders mit Komplikationen: Leberzirrhose, chronisch obstruktive Lungenerkrankung, chronische Hämodialyse, Diabetes, Krebsleiden	
Mäßig	2		Mäßig	2
Gewichtsverlust $> 5\%$ / 2 Mo. <u>oder</u> BMI $18,5-20,5 \text{ kg/m}^2$ <u>und</u> reduzierter Allgemeinzustand (AZ) <u>oder</u> Nahrungszufuhr $20-60\%$ des Bedarfes in der vergangenen Woche		+	z.B. große Bauchchirurgie, Schlaganfall, schwere Pneumonie, hämatologische Krebserkrankung	
Schwer	3		Schwer	3
Gewichtsverlust $> 5\%$ / 1 Mo. ($> 15\%$ / 3 Mo.) <u>oder</u> BMI $< 18,5 \text{ kg/m}^2$ <u>und</u> reduzierter Allgemeinzustand <u>oder</u> Nahrungszufuhr $0-25\%$ des Bedarfes in der vergangenen Woche			z.B. Kopfverletzung, Knochenmarktransplantation, intensivpflichtige Patienten (APACHE-II > 10)	

+ 1 Punkt, wenn Alter ≥ 70 Jahre

≥ 3 Punkte	Ernährungsrisiko liegt vor, Erstellung eines Ernährungsplanes
< 3 Punkte	wöchentlich wiederholtes Screening. Wenn für den Patienten z.B. eine große Operation geplant ist, sollte ein präventiver Ernährungsplan verfolgt werden, um das assoziierte Risiko zu vermeiden

15. Curriculum Vitae

PERSÖNLICHE DATEN

Name	Romana Piza
E- Mail	r.piza@gmx.at
Geburtsdatum	22.04.1988
Geburtsort	Wien
Staatsangehörigkeit	Österreich

AUSBILDUNG

Seit SS 2010	Masterstudium der Ernährungswissenschaften an der Universität Wien Spezialisierung: Public Health Nutrition
01.10.2006-17.02.2010	Bakkalaureatstudium der Ernährungswissenschaften an der Universität Wien Thema der Bakkalaureatarbeit: „L-Arginin – Funktion und Bedeutung bei Asthma bronchiale“ Abschluss: Bakkalaurea der Naturwissenschaften
1998-2006	Realgymnasium St. Ursula, 1230 Wien, Matura Juni 2006

BERUFSERFAHRUNGEN

Seit 01.07.2010	Freie Mitarbeiterin LC-Events Tätigkeiten in ganz Österreich
01.07.-18.11.2011	Praktikantin Unfallkrankenhaus Wien Meidling (UKH) Kundratstraße 37, 1120 Wien
12.07-31.08.2010	Praktikantin Österreichische Gesellschaft für Ernährung (ÖGE) Zimmermannngasse 2, 1090 Wien
01.08.-31.08.2008	Praktikantin Staud's Wien Hubergasse 3, 1160 Wien
17.10.2007-29.02.2008	Werkstudentin PricewaterhouseCoopers (PwC) Erdbergstraße 200, 1030 Wien

- 30.07.-31.08.2007 **Praktikantin**
Dr. Elisabeth Neuwirth/ **Notarin**
Mariahilferstraße 88a, 1070 Wien
- 01.08.-31.08.2006 **Praktikantin**
Dr. Elisabeth Neuwirth/ **Notarin**
Mariahilferstraße 88a, 1070 Wien

ZUSÄTZLICHE LEISTUNGEN

- 08.11.-10.11.2005 **Praktikantin**
Berufsorientierung an der **Univ. Klinik für Physikalische Medizin und Rehabilitation** im Allgemeinen Krankenhaus Wien (AKH)
Währingergürtel 18-20, 1090 Wien
Leitung: O.Univ.-Prof. Dr. Veroniak Fialka-Moser
- 24.01.-04.02.2005 **„Compassion-Projekt“**
Praxistage im Verein „Rat und Hilfe“
Arbeitsbereich: Sozialer Dienst
Tätigkeit im Bereich „Mutter-Kind-Hilfe“ für sozial benachteiligte Frauen

SONSTIGE KENNTNISSE

- | | |
|------------------|------------------------------------|
| Führerschein | Fahrzeugklasse B |
| ECDL Certificate | Europäischer Computer Führerschein |
| Sept. 2003 | 2-wöchige Sprachreise nach Irland |
| Sprachkenntnisse | Englisch |

BESONDERE INTERESSEN

- | | |
|--------------|--|
| Tanzen | Abschluss in Gold Star |
| Sport | Joggen, Wandern, Skifahren, Radfahren etc. |
| Photographie | |

Romana Piza

Romana Piza
